



Innover

Etudier

Partager

Suivi de la mortalité au sol 2020

Parc éolien de Bois Ballay - 5 éoliennes Cher (18), Centre-Val de Loire

Mars 2023

3 rue Cope Cambe
34230 PLAISSAN
RCS Montpellier 809 520 588
+ 33 (0)467 885 822

SAS au capital variable de 6000€
N°SIRET 809 520 588 000 25

Rédaction :
Médéric Baucherel
Chargé d'études
mederic.baucherel@sensoflife.com

Technique :
Hubert Lagrange
Directeur R&D
hubert.lagrange@sensoflife.com

Contrôle Qualité :
Pauline Rico
Directrice d'études
pauline.rico@sensoflife.com



SOMMAIRE

I.	Cadre général du parc	4
I.1.	Contexte de l'étude	4
I.2.	Localisation et description du parc.....	4
II.	Suivi de la mortalité sur le parc éolien de Bois Ballay	5
II.1.	Protocole de recherche de cadavres au sol	5
II.2.	Mortalité brute constatée au pied des éoliennes du parc de Bois Ballay	5
II.2.1.	Analyse spatiale des collisions sur le parc éolien de Bois Ballay	7
II.2.2.	Analyse temporelle des collisions sur le parc éolien de Bois Ballay	8
II.2.3.	Analyse météorologique des collisions sur le parc éolien de Bois Ballay	8
II.2.4.	Analyse des collisions sur le parc de Bois Ballay en fonction du milieu.....	9
II.3.	Occupation du sol et surface prospectée	9
II.4.	Test de prédation	11
II.5.	Test du taux de détection	11
II.6.	Estimations de la mortalité réelle	12
II.6.1.	Mortalité réelle des chiroptères sur le parc éolien de Bois Ballay	12
II.6.2.	Mortalité réelle des oiseaux sur le parc éolien de Bois Ballay	13
II.7.	Sensibilité des espèces retrouvées sur le parc éolien de Bois Ballay	13
II.7.1.	Calcul de la note de risque	13
II.7.2.	Vulnérabilité des espèces retrouvées sur le parc de Bois Ballay.....	13
III.	Discussion	14
III.1.	Sensibilité des oiseaux à l'éolien	14
III.1.1.	Collision	14
III.1.2.	Perte d'habitat.....	16
III.1.3.	Effet barrière	17
III.2.	Sensibilité des chiroptères à l'éolien	18
III.2.1.	Généralités	18
III.2.2.	Mortalité directe.....	19
III.2.3.	Mortalité indirecte.....	19
IV.	Conclusion.....	20
V.	Annexes	21
V.1.	Photographies calibrées des cadavres d'oiseaux et de chauves-souris trouvés sur le parc éolien de Bois Ballay en 2020.....	21
V.2.	Fiches de renseignement des cadavres d'oiseaux et de chauves-souris trouvés sur le parc éolien de Bois Ballay en 2020.....	22
VI.	Bibliographie	24

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Carte 1 : Implantation des éoliennes du parc de Bois Ballay (18)	5
Carte 2 : Localisation des cadavres trouvés sous les éoliennes du parc éolien de Bois Ballay en 2020	6
Carte 3 : Surfaces prospectables et types de culture sous les 5 éoliennes du parc éolien de Bois Ballay entre mai et octobre 2020	10
Figure 1 : Représentation du transect de prospection réalisé pour la recherche de cadavres sous une éolienne...5	
Figure 2 : Comparaison de la dentition pour identification de la Noctule de Leisler.5	
Figure 3 : Cadavre de chauve-souris parmi 19 leurreurs utilisés pour tester le taux de détection	11
Figure 4 : Alouette des champs (© Sens Of Life).....13	
Figure 5 : Bergeronnette printanière (© Sens Of Life)	13
Figure 6 : Pipistrelle commune. CCO domaine public.13	
Figure 7 : Pipistrelle de Nathusius. CCO domaine public.....14	
Figure 8 : Noctule commune. CCO domaine public.14	
Figure 8 : Roitelet à triple bandeau	16
Figure 9 : éolienne avec une pale peinte en noire.....16	
Figure 10 : Aigle royal.....17	
Figure 12 : Stratégie de franchissement d'un parc éolien sur le littoral audois (source : LPO Aude, 2001)	18
Figure 13 : Description du phénomène de barotraumatisme.....18	
Graphique 1 : Répartition des collisions constatées sur le parc éolien de Bois Ballay en 2020, en fonction de l'éolienne la plus proche	7
Graphique 2 : Répartition de la position des cadavres en fonction de la distance au mât, sur le parc éolien de Bois Ballay, en 2020	7
Graphique 3 : Répartition de la position des cadavres en fonction leur orientation par rapport au mât de l'éolienne la plus proche, sur le parc éolien de Bois Ballay, en 2020	8
Graphique 4 : Répartition des cadavres en fonction de la date sur le parc éolien de Bois Ballay en 2020	8
Graphique 5 : Caractéristiques météorologiques caractérisant la mortalité sur le parc de Bois Ballay entre mai et octobre 2020	8
Graphique 6 : Répartition des collisions en fonction de la culture, sur le parc de Bois Ballay 2020.....9	
Graphique 7 : Distance entre l'éolienne ayant causé la collision et l'élément arboré le plus proche pour chaque cadavre retrouvé sur le parc éolien de Bois Ballay en 2020	9
Graphique 8 : Principales espèces retrouvées sous les éoliennes en France (Marx, 2016).....15	
Graphique 9 : Corrélation entre le nombre de rapaces avec un comportement à risque et la mortalité, pendant 3 ans sur 13 parcs éoliens au nord de l'Espagne (Lekuona & Ursua, 2006).....16	
Tableau 1 : Coordonnées des éoliennes du parc de Bois Ballay, selon le référentiel WGS84/Pseudo Mercator	4
Tableau 2 : Liste des oiseaux et des chauves-souris retrouvés lors des suivis de mortalité sur le parc éolien de Bois Ballay en 2020.7	
Tableau 3 : Couvert végétal et surface prospectée à chaque passage sous les éoliennes du parc de Bois Ballay entre mai et octobre 2020	9
Tableau 4 : Évaluation du taux de détection des cadavres sur le parc éolien de Bois Ballay en 2020	11

Tableau 5 : Mortalité réelle estimée des chiroptères, selon les différentes formules, sur le parc éolien de Bois Ballay, entre mai et octobre 2020. Les éoliennes indiquées en vert présentent une mortalité conforme et celles indiquées en rouge présentent une mortalité plus élevée que la bibliographie (Rydell et al., 2010a).	12
Tableau 6 : Mortalité réelle estimée des oiseaux, selon les différentes formules, sur le parc éolien de Bois Ballay, entre mai et octobre 2020. Les éoliennes indiquées en vert présentent une mortalité conforme et celles indiquées en jaune une mortalité parfois élevée selon la formule utilisée, par rapport à la bibliographie (Marx, 2017).....	13
Tableau 7 : Calcul de la note de risque d'une espèce à l'éolien, en fonction de sa sensibilité et de son statut de conservation à l'échelle nationale.....	13
Tableau 8 : Comparaison indicative des différentes causes de mortalité anthropique de l'avifaune en France (en haut, LPO, AMBE - 2010) et aux Etats-Unis (en bas, Erickson et al., 2005).....	15
Tableau 9 : Vulnérabilité à l'éolien par espèce (Groupe Chiroptères de la SFPEM, 2016)	19

I. Cadre général du parc

I.1. Contexte de l'étude

Le Groupe Falck Renewables, via sa filiale française Falck Energies Renouvelables est l'opérateur du parc éolien de Bois-Ballay, composé de 5 éoliennes, implanté sur la commune de Mareuil-sur-Arnon (18290) dans le département du Cher (18), en région Centre-Val de Loire. Cette installation a été mise en service en 2011, elle est donc réputée ICPE conformément au droit d'antériorité.

Selon l'arrêté ICPE du 26 août 2011, relatifs aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent, l'exploitant d'une installation soumise à autorisation ou bien à déclaration¹ au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement, doit réaliser un suivi environnemental dans les 3 ans qui suivent la mise en service du parc éolien puis une fois tous les dix ans. Ce suivi post-implantation sert à estimer l'incidence du parc sur l'avifaune et les chiroptères, notamment en termes de mortalité due à la présence des aérogénérateurs, mais aussi à s'assurer que la construction et l'exploitation du parc ne dégradent pas l'état de conservation de certaines espèces et des habitats protégés.

Le suivi environnemental doit être réalisé avec le protocole reconnu par le ministère chargé des installations classées et doit également être conforme à la réglementation de l'étude d'impact qui définit les modalités de suivi des effets du parc sur l'avifaune et les chauves-souris (Article R122-14 du code de l'environnement). Il comprend un suivi de l'activité chiroptérologique en altitude, en continu et sans aucun échantillonnage de durée sur l'ensemble de la période d'activité des chauves-souris, ainsi qu'un suivi de la mortalité au pied des éoliennes.

Ce rapport présente le suivi de mortalité réalisé par Sens Of Life en 2020. Il inclut les résultats des inventaires sur le terrain, les impacts et les mesures à adopter sur ce parc pour réduire l'incidence sur les oiseaux et les chiroptères. Due à un incident d'installation côté Sens Of Life, le suivi de l'activité chiroptérologique n'a pas eu lieu en 2020.

I.2. Localisation et description du parc

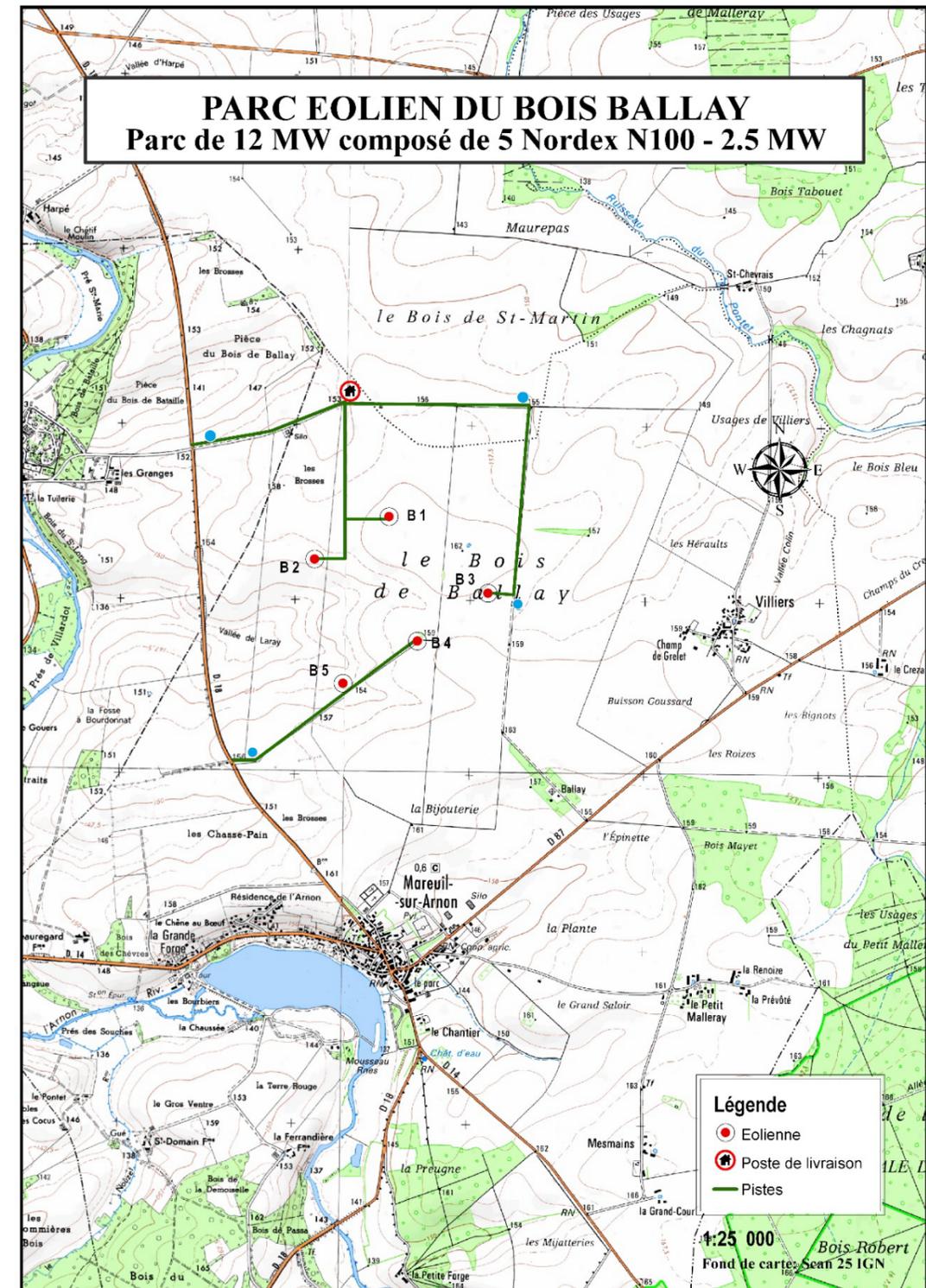
Ce parc, constitué de 5 éoliennes, se situe sur la commune de Mareuil-sur-Arnon (18290) dans le département du Cher (18), en région Centre-Val de Loire. Les cinq turbines sont des Nordex N100 pour une puissance nominale totale de 12,5 MW. Le tableau suivant indique les coordonnées géographiques des éoliennes, selon le référentiel WGS84/Pseudo Mercator (Carte 1).

Eolienne	X	Y
B1	46.903305	2.159731
B2	46.900879	2.154195
B3	46.899143	2.167331
B4	46.896754	2.161879
B5	46.894437	2.156311

Tableau 1 : Coordonnées des éoliennes du parc de Bois Ballay, selon le référentiel WGS84/Pseudo Mercator

Le parc éolien de Bois Ballay est situé au cœur d'une mosaïque agricole de cultures exploitées de manière intensive. On notera la présence de deux bosquets et une haie d'arbres au sein de la Zone d'Implantation. Aucun

cours d'eau ni aucune mare n'a été identifié dans le périmètre immédiat des éoliennes, mais un lac est situé à environ 1,5 km au sud.



¹ Point 3.7 de l'annexe I de l'arrêté du 26 août 2011 et article 9 de l'arrêté du 22 juin 2020.

Carte 1 : Implantation des éoliennes du parc de Bois Ballay (18)

II. Suivi de la mortalité sur le parc éolien de Bois Ballay

Cette étude est proposée dans le but d'optimiser les connaissances quant à l'impact du parc éolien de Bois Ballay sur les chauves-souris et les oiseaux. Elle a pour objectif de caractériser la mortalité induite par le fonctionnement des éoliennes étudiées sur les chiroptères et les oiseaux. Un protocole éprouvé et rationalisé est mis en place pour évaluer au mieux le nombre de cadavres, en prenant en compte les biais inhérents à ce type de démarche.

II.1. Protocole de recherche de cadavres au sol

Le suivi de la mortalité est basé sur un protocole développé par l'équipe d'Arnett (Casselman Wind Project, 2008-2010), puis adapté et appliqué en Europe par des membres de notre équipe sur le parc éolien de Bouin (Lagrange *et al.*, 2009). Il est conforme au protocole ministériel publié en 2018 et se déroule sur 20 prospections au minimum, à débiter dès le lever du jour, réparties entre les semaines 20 et 43 (mi-mai à octobre). Les suivis de mortalité ont été effectués sur le parc éolien de Bois Ballay selon le protocole, avec 20 passages répartis entre le 22/05/2020 et le 19/10/2020.

Ce protocole consiste à prospecter la surface sous l'éolienne en se guidant à l'aide d'une corde qui est raccourcie à chaque retour sur la piste d'accès à l'éolienne. Au premier passage, toute la longueur de la corde (50 mètres) fixée à l'éolienne est déroulée. L'observateur part de la plateforme en parcourant un cercle autour de l'éolienne et en recherchant les cadavres d'oiseaux et de chauves-souris de chaque côté de son passage (2,5 mètres de chaque côté). De retour sur la piste d'accès, 5 mètres de corde sont rembobinés et l'observateur décrit, en sens inverse, un autre cercle autour de l'éolienne. L'opération est répétée jusqu'à ce que l'observateur se trouve au pied de l'éolienne. Ainsi, pour chaque éolienne, l'observateur parcourt 10 cercles (50, 45, 40, 35, 30, 25, 20, 15, 10 et 5 mètres) soit 1728 mètres de transect, à une vitesse approximative de 3 km/h (Figure 1). L'opération nécessite 35 minutes de parcours, auxquelles s'ajoutent 10 minutes de relevés de cadavres. La surface prospectée est de 8659 m² ($S = \pi \cdot R^2$, avec $R = 52,5$ mètres, dont 50 mètres de corde et 2,5 mètres de prospection). Le rayon de prospection choisi a été adapté à la longueur des pales.

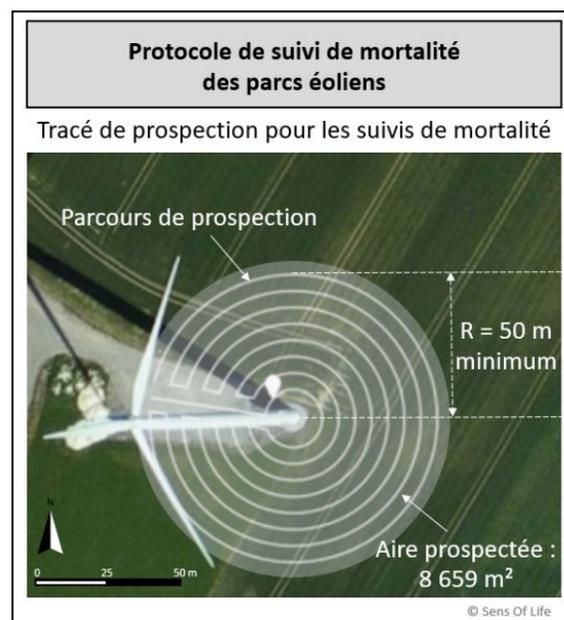


Figure 1 : Représentation du transect de prospection réalisé pour la recherche de cadavres sous une éolienne.

Le nombre de cadavres retrouvés sous les éoliennes est directement lié au nombre de prospections réalisées (Marx, 2017) et leur détectabilité dépend de :

- La nature des individus (taille et poids) ;
- Du protocole de recherche implémenté, avec une détectabilité maximale avec des prospections au-delà de 50 mètres de rayon ;
- De la visibilité du terrain prospecté (couverture végétale, relief...) ;
- De la durée des suivis (moyenne de 25 semaines/an en France) ;
- De la fréquence de prospection (taux de prédation des cadavres) ;
- De la longueur des pales (cadavres au-delà du rayon de recherche).

L'identification des chauves-souris a été réalisée par analyse morphologique de la dentition des cadavres, après avoir été conservés congelés (Figure 2). L'ouvrage d'Arthur & Lemaire (2009) a été utilisé comme référence.

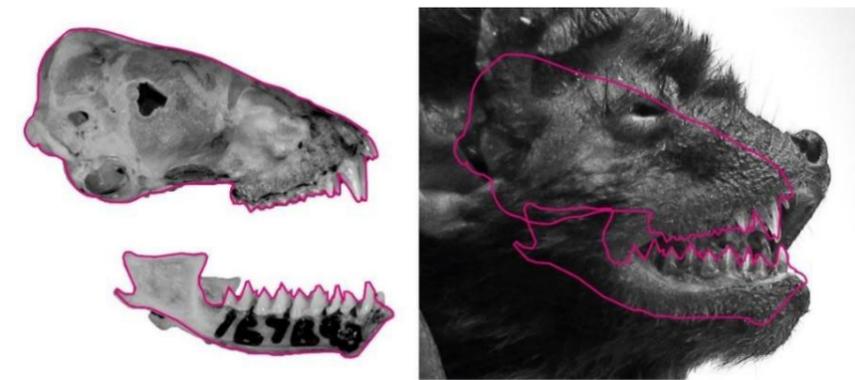


Figure 2 : Comparaison de la dentition pour l'identification de la Noctule de Leisler.

L'identification des oiseaux a été réalisée à partir du plumage, de la taille du squelette et de la forme des pattes et du bec, en se référant aux ouvrages de Svensson *et al.* (2015) et de Cieślak et Dul (2006) et aux sites Internet :

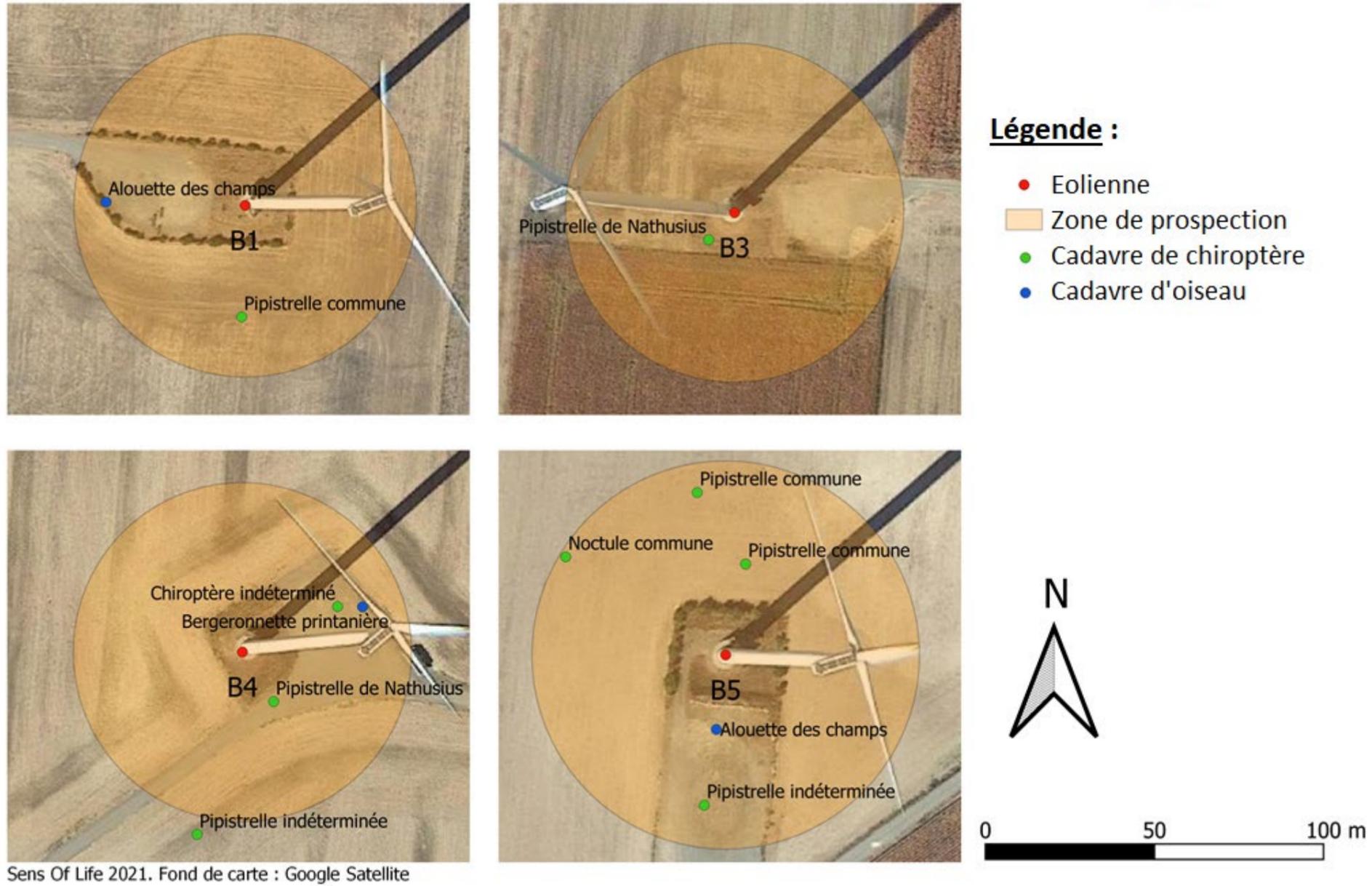
- <http://skullsite.w3basix.nl/search/index.cfm>
- <https://sketchfab.com/laboratorinatura/collections/aves?cursor=48>

II.2. Mortalité brute constatée au pied des éoliennes du parc de Bois Ballay

Le suivi de mortalité du parc éolien de Bois Ballay est basé sur 20 passages répartis entre mai et octobre, soit une pression d'échantillonnage relativement importante, réalisés aux dates listées dans le Tableau 3. Au total, neuf cadavres de chiroptères et trois cadavres d'oiseaux ont été retrouvés lors des suivis de mortalité. L'ensemble des individus découverts sont morts par barotraumatisme et/ou par collision avec les pales, soit 100% des individus dont la mort est imputable aux éoliennes. Le Tableau 2 indique les caractéristiques générales des collisions constatées sur le parc éolien de Bois Ballay en 2020. Toutes les fiches d'identification des cadavres sont disponibles en annexe V.2. La Carte 2 permet la visualisation de la répartition spatiale de ces cadavres sous les éoliennes du parc.



Localisation des cadavres retrouvés en 2020 Parc éolien de Bois Ballay Mareuil-sur-Arnon, Cher (18)



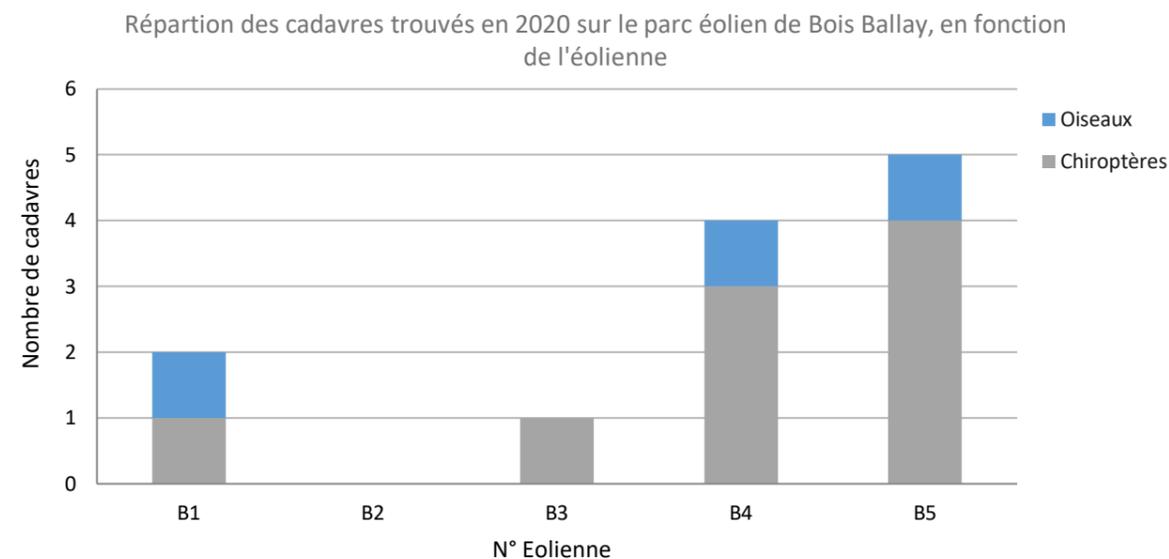
Carte 2 : Localisation des cadavres trouvés sous les éoliennes du parc éolien de Bois Ballay en 2020

Date	Espèce	Nom latin	Type	Statut de conservation	Coordonnées GPS	Eolienne proche	Distance au mât	Orientation par rapport au mât
22/05/2020	Alouette des champs	<i>Alauda arvensis</i>	Oiseau	NT	46.8942421 ; 2,1562895	B5	20m	Sud-Ouest
10/07/2020	Bergeronnette printanière	<i>Motacilla flava</i>	Oiseau	LC	46.8968557 ; 2.1623295	B4	37m	Est
16/07/2020	Chiroptère indéterminé		Chiroptère	-	46.8968557 ; 2.162326	B4	31m	Nord-Est
23/07/2020	Alouette des champs	<i>Alauda arvensis</i>	Oiseau	NT	46.9032742 ; 2.159199	B1	45m	Ouest
23/07/2020	Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	Chiroptère	NT	46.8966016 ; 2.1619885	B4	19m	Sud-Est
30/07/2020	Pipistrelle indéterminée	<i>Pipistrellus sp.</i>	Chiroptère	-	46.8940661 ; 2.1562513	B5	38m	Sud
13/08/2020	Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Chiroptère	NT	46.9029771 ; 2.1597238	B1	36m	Sud
17/08/2020	Pipistrelle indéterminée	<i>Pipistrellus sp.</i>	Chiroptère	-	46.8962467 ; 2.1616972	B4	51m	Sud-Ouest
20/08/2020	Noctule commune	<i>Nyctalus noctula</i>	Chiroptère	VU	46.8946382 ; 2.1557729	B5	48m	Nord-Ouest
20/08/2020	Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Chiroptère	NT	46.8947908 ; 2.1562161	B5	41m	Nord-Ouest
20/08/2020	Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	chiroptère	NT	46.8946261 ; 2.1563827	B5	25m	Nord-Est
10/09/2020	Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	Chiroptère	NT	46.8990600 ; 2.167247	B3	12m	Sud-Ouest

Tableau 2 : Liste des oiseaux et des chauves-souris retrouvés lors des suivis de mortalité sur le parc éolien de Bois Ballay en 2020.

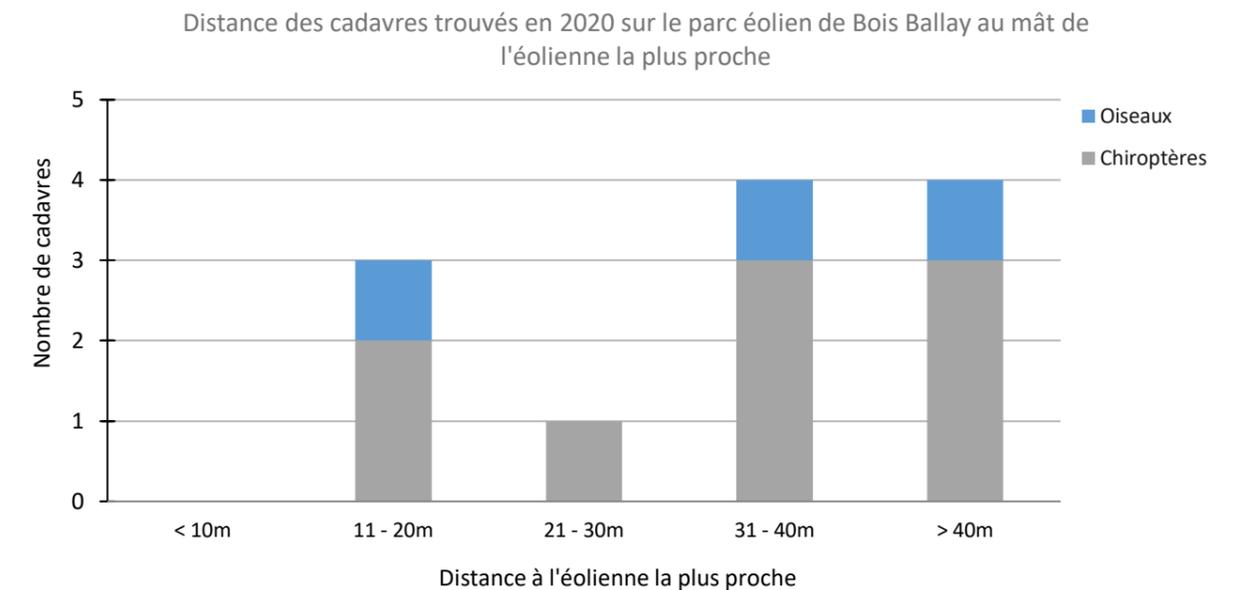
II.2.1. Analyse spatiale des collisions sur le parc éolien de Bois Ballay

Le Graphique 1 permet d'analyser la répartition géographique des collisions sur l'ensemble du parc éolien de Bois Ballay. Aucun cadavre n'a été retrouvé sous l'éolienne B2, un seul cadavre de chiroptère a été retrouvé sous l'éolienne B3, deux cadavres ont été retrouvés sous l'éolienne B1, et les éoliennes B4 et B5, situées au sud, présentent une mortalité brute plus élevée, avec respectivement 4 et 5 cadavres retrouvés.



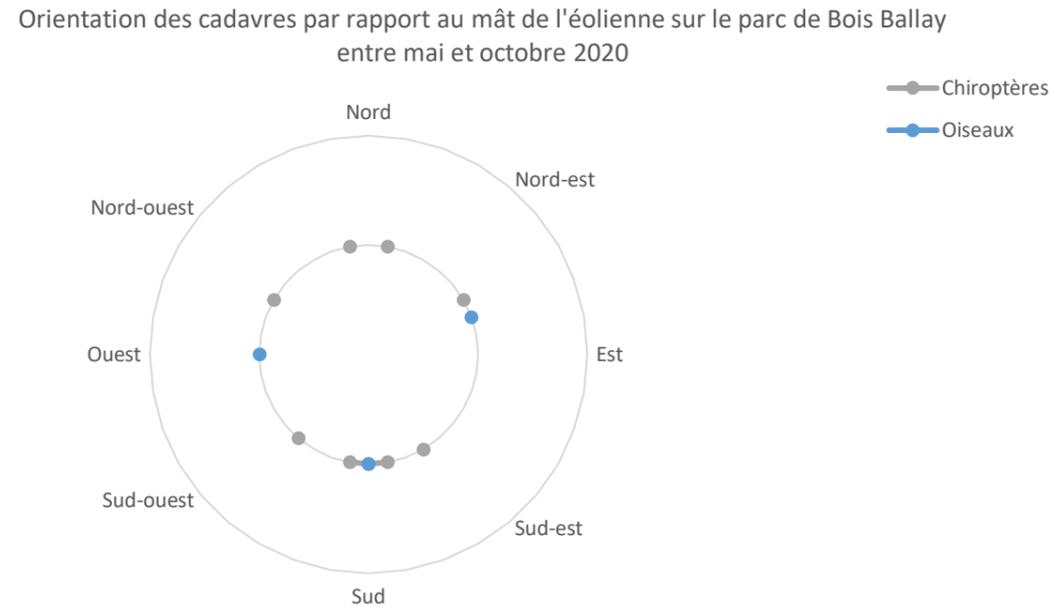
Graphique 1 : Répartition des collisions constatées sur le parc éolien de Bois Ballay en 2020, en fonction de l'éolienne la plus proche

En ce qui concerne la distance des cadavres au mât de l'éolienne (Graphique 2), deux tiers des cadavres ont été retrouvés à plus de 30 mètres. Il ne semble pas y avoir de corrélation entre la taille des individus retrouvés (chiroptères ou oiseaux) et la distance du cadavre au mât.



Graphique 2 : Répartition de la position des cadavres en fonction de la distance au mât, sur le parc éolien de Bois Ballay, en 2020

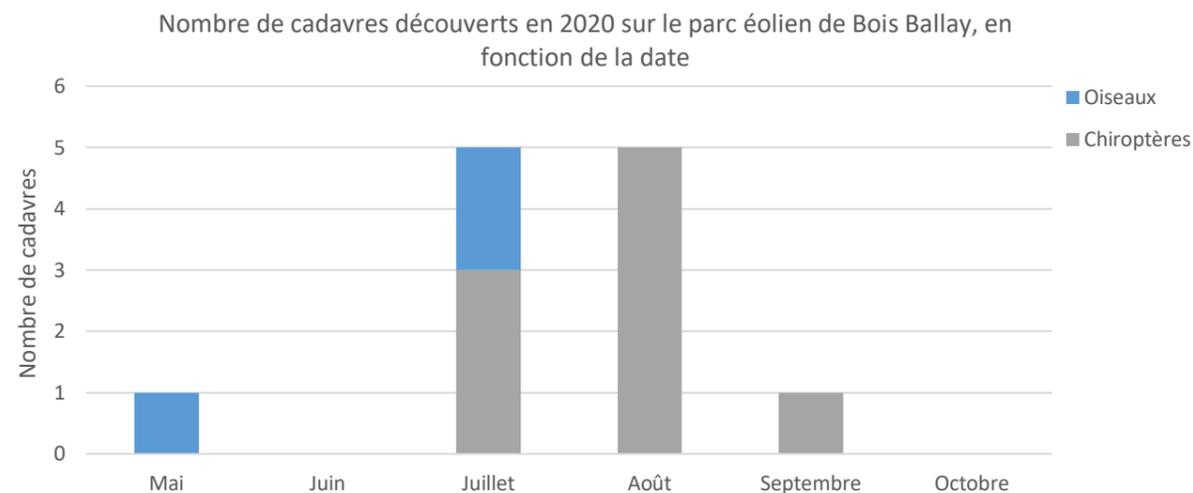
Enfin, la répartition des cadavres a été analysée en fonction de leur orientation par rapport au mât de l'éolienne la plus proche, mais aucune tendance ne semble se démarquer (Graphique 3).



Graphique 3 : Répartition de la position des cadavres en fonction de leur orientation par rapport au mât de l'éolienne la plus proche, sur le parc éolien de Bois Ballay, en 2020

II.2.2. Analyse temporelle des collisions sur le parc éolien de Bois Ballay

Le Graphique 4 permet d'analyser la mortalité constatée sur le parc éolien de Bois Ballay en fonction de la période biologique. Un pic de la mortalité peut être constaté au cours des mois de juillet et août. Ceux-ci incluent 8 des 9 chiroptères retrouvés morts au pied des éoliennes ainsi que 3 des 4 oiseaux sur l'ensemble de l'étude. Le mois d'août correspond à la fin de la période de mise-bas et d'élevage des jeunes chez les chiroptères. Les cadavres d'Alouette des champs et de Bergeronnette printanière ont été retrouvée en mai et juillet, période d'envol des jeunes.



Graphique 4 : Répartition des cadavres en fonction de la date sur le parc éolien de Bois Ballay en 2020

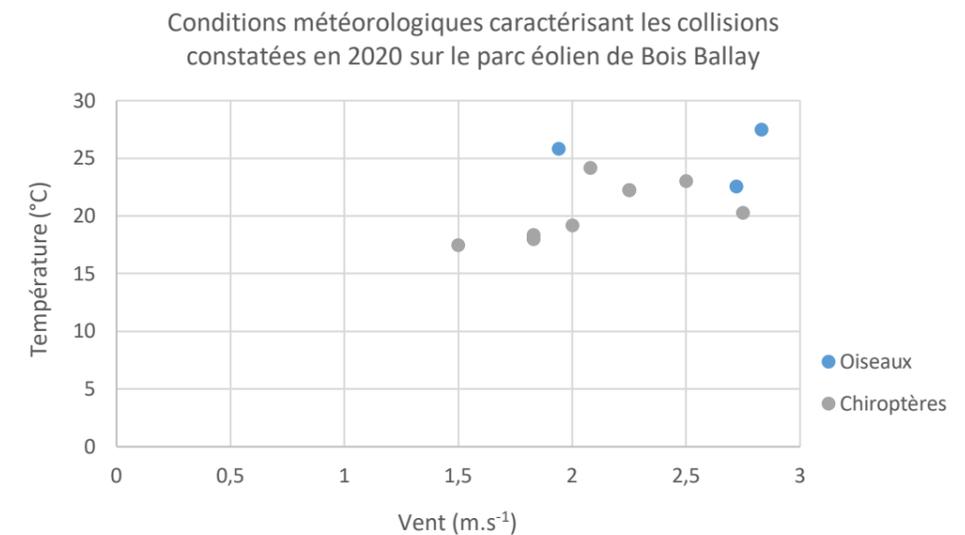
Quatre et trois prospections ont respectivement eu lieu aux mois de juin et octobre 2020 mais aucun cadavre n'a été retrouvé. La plus faible mortalité constatée en juin doit être interprétée avec précaution : en effet, les cultures étant trop hautes à cette période de l'année, seuls 20% de la surface prospectable ont été réellement étudiés. Ce biais sera corrigé grâce à un coefficient surfacique pour le calcul de la mortalité estimée (paragraphe II.6).

II.2.3. Analyse météorologique des collisions sur le parc éolien de Bois Ballay

Les données météorologiques récoltées sur le parc éolien de Bois Ballay permettent d'analyser les conditions de vent et de température pouvant expliquer les mortalités constatées en 2020 (Graphique 5). Une fois la date de la collision estimée en fonction de l'avancement de la décomposition du cadavre, les moyennes de vitesses de vent et de températures ont été calculées, soit sur la nuit ou la journée si l'estimation se révélait précise, soit sur les trois jours entourant la date estimée, de 21h00 à 07h00 pour les collisions de chiroptères et de 07h00 à 21h00 pour les oiseaux.

En ce qui concerne les chiroptères retrouvés au cours des suivis de mortalité, les nuits entourant les dates estimées de ces collisions sont caractérisées par une vitesse de vent comprise entre 1,5 et 2,8 m.s⁻¹ et une température comprise entre 17,5°C et 24,2°C.

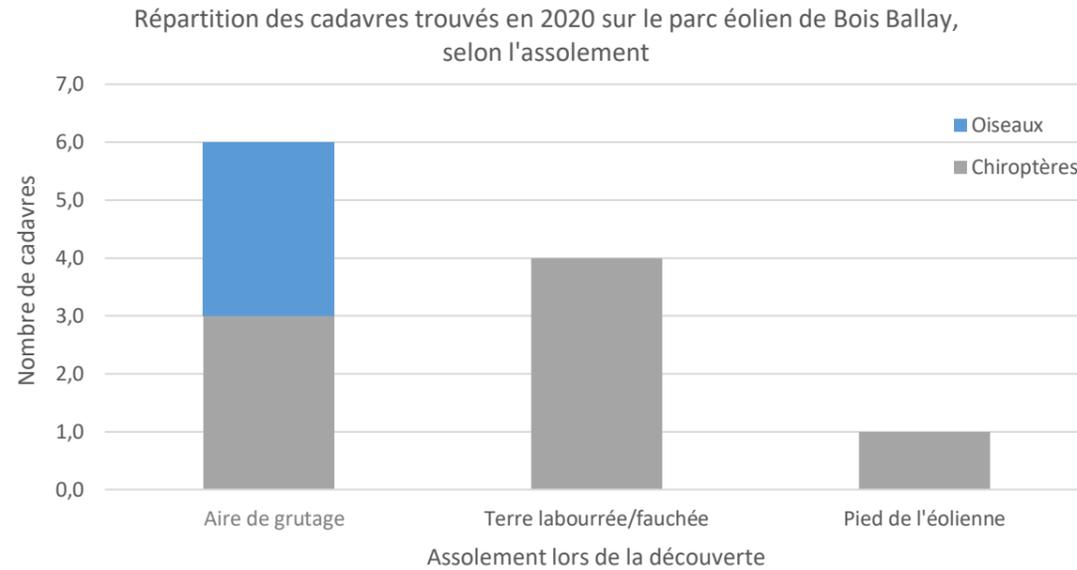
En ce qui concerne les oiseaux retrouvés au cours des suivis de mortalité, les dates estimées des collisions étaient caractérisées par une vitesse de vent moyenne comprise entre 1,9 et 2,8 m.s⁻¹, et une température moyenne de 22,6 à 27,5°C.



Graphique 5 : Caractéristiques météorologiques caractérisant la mortalité sur le parc de Bois Ballay entre mai et octobre 2020

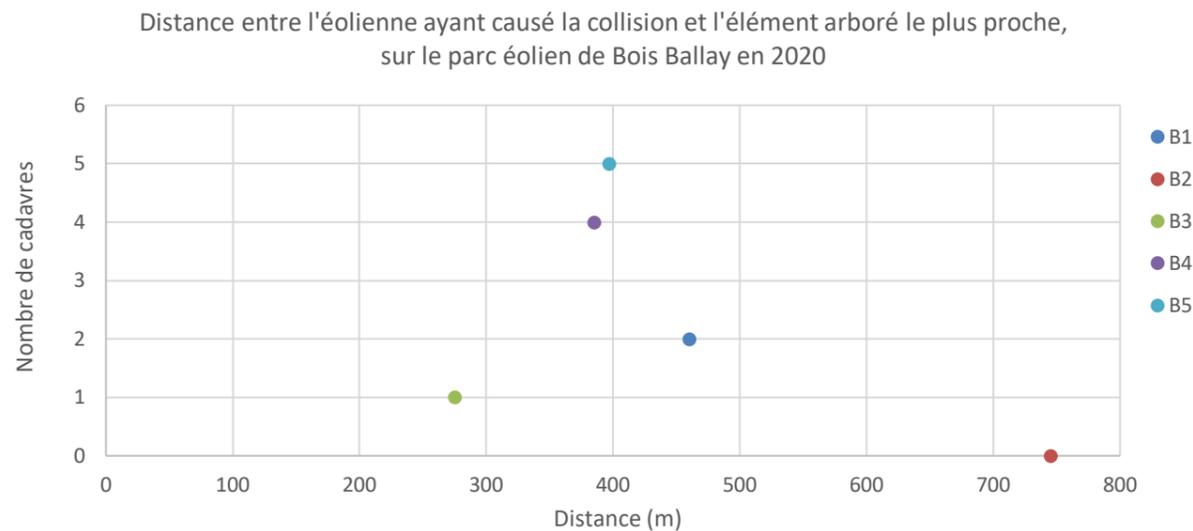
II.2.4. Analyse des mortalités sur le parc de Bois Ballay en fonction du milieu

Les cadavres d'oiseaux et de chauves-souris retrouvés sur le parc éolien de Bois Ballay ont été majoritairement constatés sur une culture fauchée, labourée ou sur l'aire de grutage. Le Graphique 6 illustre une plus grande facilité à trouver les cadavres sur ces types d'assolements qu'une réelle attractivité de ces assolements (Tableau 3).



Graphique 6 : Répartition des collisions en fonction de la culture, sur le parc de Bois Ballay 2020

Enfin, le parc éolien de Bois Ballay étant parsemé de quelques boisements, il est également intéressant d'étudier la mortalité brute retrouvée en fonction de la proximité des éoliennes aux premiers éléments arborés (boisements, bosquets, haies...) (Graphique 7).



Graphique 7 : Distance entre l'éolienne ayant causé la collision et l'élément arboré le plus proche pour chaque cadavre retrouvé sur le parc éolien de Bois Ballay en 2020

Sur l'ensemble des turbines du parc, l'éolienne la plus proche d'un boisement est l'éolienne B3, puisqu'elle se situe à 283 mètres environ d'un bosquet d'arbres bordant le chemin, au milieu des éoliennes B1, B2, B3 et B4. Une Pipistrelle de Nathusius a été retrouvée sous B3, qui, additionnée aux cadavres trouvés sous les éoliennes B1, B2 et B4, constituent 58% des cadavres retrouvés. L'éolienne B5, proche d'une grande haie d'arbres, regroupe à elle seule les 42% restants. Cette haie d'arbres pourrait être un élément boisé linéaire utilisé comme voie de déplacement local et donc source d'impact sur B5.

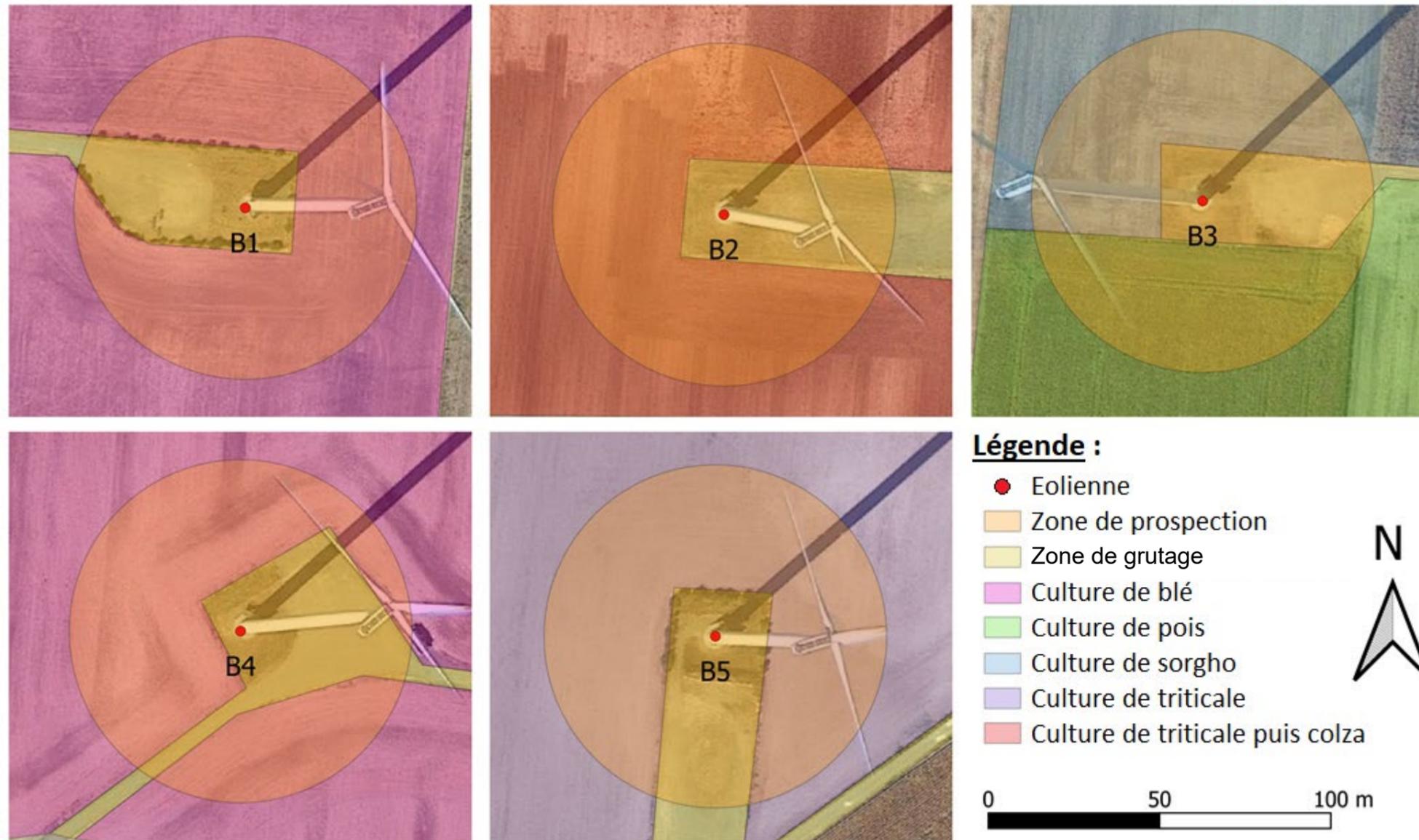
II.3. Occupation du sol et surface prospectée

Au pied des éoliennes, 72% du sol est occupée par de grandes cultures de graminées (remplacé par du colza sur l'éolienne B2 en fin de saison) et 6% par des cultures de pois. Le reste de l'assolement concerne les aires de grutage (22%). La surface prospectée peut être inférieure à la surface théorique, à cause des obstacles comme des haies, des grillages... ou par un souci de préserver l'intégralité des cultures en place. En effet, jusqu'à mi-juillet, ces cultures sont trop hautes pour être prospectées sans être abîmées donc certaines surfaces n'ont pas pu être prospectées entièrement. La couverture végétale et le pourcentage de surface prospectée ont été relevés à chaque suivi, et une moyenne a été calculée sur l'année de recherche pour estimer ce biais (Tableau 3). La Carte 3 montre un aperçu des zones prospectables au sein des surfaces délimitées pour la recherche de cadavres sur le parc éolien de Bois Ballay.

Eolienne	B1	B2	B3	B4	B5
Nombre de cadavres retrouvés	2	0	1	4	5
Date	Couvert végétal et occupation du sol				
22/05/2020	20%	20%	20%	30%	20%
04/06/2020	20%	20%	70%	30%	20%
11/06/2020	20%	20%	70%	30%	20%
18/06/2020	20%	20%	70%	30%	20%
26/06/2020	20%	100%	70%	30%	20%
02/07/2020	20%	100%	20%	30%	20%
08/07/2020	0%	0%	20%	0%	0%
10/07/2020	100%	100%	0%	100%	100%
16/07/2020	100%	100%	50%	100%	100%
23/07/2020	100%	100%	50%	100%	100%
30/07/2020	100%	100%	50%	0%	100%
06/08/2020	100%	100%	50%	100%	100%
13/08/2020	100%	0%	50%	100%	100%
17/08/2020	100%	100%	50%	100%	100%
20/08/2020	100%	100%	50%	100%	100%
31/08/2020	100%	100%	50%	100%	100%
04/09/2020	0%	100%	0%	0%	0%
10/09/2020	100%	100%	50%	100%	100%
17/09/2020	100%	100%	50%	100%	100%
24/09/2020	100%	20%	50%	100%	100%
01/10/2020	100%	20%	100%	100%	100%
09/10/2020	100%	20%	100%	100%	100%
19/10/2020	0%	0%	0%	100%	0%
Moyenne	76,0%	72,0%	54,5%	79,0%	76,0%

Tableau 3 : Couvert végétal et surface prospectée à chaque passage sous les éoliennes du parc de Bois Ballay entre mai et octobre 2020

Surface prospectée sous les éoliennes Parc éolien de Bois Ballay Mareuil-sur-Arnon, Cher (18)



Sens Of Life 2021. Fond de carte : Google Satellite

Carte 3 : Surfaces prospectables et types de culture sous les cinq éoliennes du parc éolien de Bois Ballay entre mai et octobre 2020

II.4. Test de prédation

Les cadavres des oiseaux et chauves-souris tombés au sol sont consommés par divers prédateurs, tels que des renards, corneilles, sangliers, guêpes... Leur disparition est susceptible d'affecter l'évaluation de la mortalité induite par les éoliennes. Le taux de prédation dépend de la couverture au sol et de la proximité des éoliennes à des éléments du réseau écologique attirant potentiellement des prédateurs. Pour évaluer ce biais, le taux de prédation des cadavres doit être évalué sous la moitié des éoliennes du parc minimum, selon le protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres défini par le Ministère de la transition écologique et solidaire (DREAL, 2015, 2018).

Ainsi, trois cadavres de cailles ont été déposés sous chacune des éoliennes B1, B3 et B4 le 16/09/2020 et une deuxième série de test a été réalisée le 07/10/2020. Leur recherche a été menée le lendemain (J+1), puis à J+2, J+6 et J+12, donc pendant 2 semaines s'il y avait persistance. La disparition a été considérée complète au moment où l'observateur estimait que les restes ne pouvaient pas permettre de repérer les individus en dehors d'une connaissance précise de leur localisation.

A partir de ces données, différents paramètres ont été calculés :

- Le temps de séjour moyen d'un cadavre : $t_m = \frac{\sum_i^n t_i}{n}$

t_m = temps de séjour moyen d'un cadavre

t_i = temps de persistance d'un cadavre

n = nombre de cadavres utilisés

- Le taux de persistance des cadavres : $S = \frac{n_{nuit}}{n}$

S = taux de persistance des cadavres

n_{nuit} = nombre de cadavres persistant après un passage

n = nombre de cadavres utilisés

Sur le parc éolien de Bois Ballay, le temps de séjour moyen d'un cadavre est estimé à 2,1 jours et le taux de persistance au deuxième jour est estimé à 28%. Les résultats de ce test montrent que la prédation sur le site d'étude est importante. Etant donné que l'intervalle moyen entre deux prospections est de 7,7 jours, un oiseau ou une chauve-souris, tué durant les premières nuits suivant une recherche, aura une assez faible probabilité d'être retrouvé lors de la recherche suivante.

II.5. Test du taux de détection

L'efficacité de l'observateur à retrouver des cadavres de chauves-souris et d'oiseaux au sol, parmi la végétation et divers artefacts (bouses et crottins, cailloux, fragments végétaux...), doit être testée pour évaluer le ratio entre le nombre de cadavres réellement présents et ceux qui sont effectivement retrouvés, selon le protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres défini par le Ministère de la transition écologique et solidaire (document révisé en 2018). Le choix d'utiliser des leurres ou des vrais cadavres ne semble pas influencer le test (Jones *et al.*, 2009). Cependant, l'utilisation de leurres artificiels permet de s'affranchir d'une éventuelle altération de la pression de prédation.

Ainsi, un premier chargé d'études a déposé 5 leurres d'oiseaux et 10 leurres de chauves-souris (Figure 3), soit 15 leurres au total, sous les éoliennes B1, B3 et B4, dans les zones où la prospection était possible, en variant la distance au mât de l'éolienne et la couverture végétale. Un second chargé d'études a ensuite collecté les leurres au cours des passages dédiés aux suivis de mortalité, en suivant le protocole décrit dans le début du paragraphe (Tableau 4).

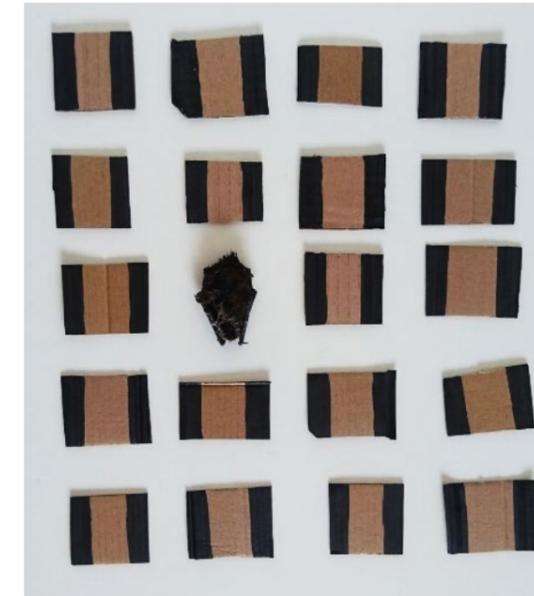


Figure 3 : Cadavre de chauve-souris parmi 19 leurres utilisés pour tester le taux de détection

Ce test a été réalisé deux fois durant l'année, le 13/08/2020 et le 01/10/2020, afin d'obtenir des résultats précis et correspondant à l'efficacité sur différentes couvertures de sol (terre, semis, terrain après récolte...). Cette approche prend donc en compte d'éventuelles variations de détection en fonction de la couverture du sol et du contexte sous chacune des éoliennes.

Eolienne	Chiroptères		Taux de détection	Oiseaux		Taux de détection
	Leurre déposé	Leurres trouvés	chiroptères	Leurre déposé	Leurres trouvés	oiseaux
B1	20	15	75%	10	10	100%
B3	20	12	60%	10	9	90%
B4	20	13	65%	10	10	100%
Parc	60	40	67%	30	29	97%

Tableau 4 : Évaluation du taux de détection des cadavres lors de deux séries de test sur le parc éolien de Bois Ballay en 2020

A partir de ces données, le taux de détection a été calculé à chaque passage : $f_{Ex}^t = \frac{l_{RetEx}^t}{l_{TotEx}^t}$

f_{Ex}^t = taux de détection pour le passage t sous l'éolienne Ex

l_{RetEx}^t = nombre de leurres retrouvés lors du passage t sous l'éolienne Ex

l_{TotEx}^t = nombre total de leurres dispersés sous l'éolienne Ex

Sur le parc éolien de Bois Ballay, le taux de détection sous les éoliennes varie de 66% à 96%, avec une excellente détection de 96% pour les oiseaux et une bonne détection de 66% pour les chiroptères.

II.6. Estimations de la mortalité réelle

Plusieurs formules ont été publiées dans la littérature depuis 1992, permettant d'estimer la mortalité réelle des oiseaux et des chauves-souris sur un parc éolien, à partir de la mortalité brute constatée au pied des éoliennes et en prenant en compte les biais mentionnés dans les paragraphes précédents. Pour chaque formule, les notations suivantes seront utilisées :

- N = nombre d'individus potentiellement tués (dépend de l'éolienne considérée)
- C = nombre de cadavres trouvés (dépend de l'éolienne considérée)
- A = coefficient de correction surfacique (dépend de l'éolienne considérée)
- p = proportion de cadavres qui perdurent au-delà de l'intervalle entre deux passages
 - p = 0,00 sur le parc éolien de Bois Ballay
- t = temps de séjour moyen des cadavres (jours)
 - t = 2,14 sur le parc éolien de Bois Ballay
- d = probabilité de détection des leurres
 - d = 0,66 pour les chiroptères sur le parc éolien de Bois Ballay
 - d = 0,90 pour les oiseaux sur le parc éolien de Bois Ballay
- b = nombre de recherches effectués sur le terrain
 - b = 20 sur le parc éolien de Bois Ballay
- l = intervalle de temps entre chaque recherche (jours)
 - l = 6,82 sur le parc éolien de Bois Ballay
- i = intervalle effectif = - log (0,01) x t
 - i = 4,28 sur le parc éolien de Bois Ballay
- ê = coefficient correcteur de l'intervalle = Min (l : i) / l
 - ê = 0,63 sur le parc éolien de Bois Ballay
- M = nombre de turbines prospectées
 - M = 5 sur le parc éolien de Bois Ballay

La formule d'Erickson *et al.* (2005) utilise le taux de persistance des cadavres comme le nombre moyen de jours de persistance (t) divisé par l'intervalle entre les recherches (l). Cette formule a l'avantage de s'adapter à un changement d'intervalle imprévu. Mathématiquement, si le taux de persistance est supérieur à l'intervalle, alors il est supérieur à 1, ce qui est impossible en pratique. Avec des intervalles courts, cette méthode a tendance à sous-estimer le taux de prédation et donc sous-estimer le nombre de cadavres tués. Sur le parc éolien de Bois Ballay, l'intervalle de temps entre les suivis étant en moyenne de 6,8 jours, l'application de cette formule est tout à fait pertinente.

$$N = \frac{I \cdot C}{t \cdot d} * A$$

Une nouvelle formule publiée par Huso (2010) présuppose que la persistance des cadavres dans le temps suit plutôt une distribution exponentielle. Cette approche définit un risque constant impliquant que les cadavres attirent les nécrophages de manière constante au fil du temps. Il est aussi supposé que les intervalles de confiance puissent être inférieurs au nombre de cadavres trouvés sous les éoliennes.

$$N = C / \left(d * \frac{t * (1 - \exp^{-\frac{l}{t}})}{l} * \hat{e} \right) * A \quad \text{avec } p = t * (1 - \exp^{-\frac{l}{t}}) / l$$

Enfin, la formule de Bastos *et al.* (2013) considère la non-constance et l'interdépendance des paramètres « efficacité de recherche » et « persistance des cadavres ». Cet algorithme innovant est capable d'estimer la mortalité potentielle, même en l'absence des cadavres retrouvés et ainsi éviter de fausses interprétations.

$$N = 10 * \exp[0,276 + 0,471 * \log_{10}(l + 1) + 0,463 * \log_{10}(b + 1) + 0,45 * \log_{10}(M + 1) + 0,638 * \log_{10}(C + 1) - 0,432 * \log_{10}(p + 1) - 3,633 * \log_{10}(d + 1)] - 1$$

II.6.1. Mortalité réelle des chiroptères sur le parc éolien de Bois Ballay

Les formules présentées précédemment ont été appliquées sur l'ensemble des données brutes de mortalité des chiroptères afin de calculer leur mortalité réelle estimée sur le parc (Tableau 5).

Eolienne	Nombre de cadavres	Mortalité estimée, Erickson <i>et al.</i> (2005)	Mortalité estimée, Huso (2010)	Mortalité estimée, Bastos <i>et al.</i> (2013)
B1	1	5,9	9,9	7,2
B2	0	-	-	4,2
B3	1	5,9	9,9	7,2
B4	3	17,8	29,6	11,8
B5	4	23,7	39,4	13,8
Parc	9	55,3	91,9	38,5
Nombre de chiroptères/éolienne		13,8	23,0	9,6
Intervalles de confiance à 95%		2,2	3,6	1,0

Tableau 5 : Mortalité réelle estimée des chiroptères, selon les différentes formules, sur le parc éolien de Bois Ballay, entre mai et octobre 2020. Les éoliennes indiquées en vert présentent une mortalité conforme et celles indiquées en rouge présentent une mortalité plus élevée que la bibliographie (Rydell *et al.*, 2010a).

En utilisant les biais testés sur le parc éolien, la mortalité réelle des chiroptères sur le parc éolien de Bois Ballay est estimée entre 9,6 (Bastos *et al.*, 2013) et 23,0 (Huso, 2010) chiroptères tués par éolienne, sur la période étudiée, de mai à octobre 2020.

Selon Rydell *et al.* (2010a), le contexte paysager du site d'implantation influence le taux de mortalité des éoliennes, qui est maximal dans les parcs situés sur le littoral ou sur des crêtes (5-20 chauves-souris impactées/éolienne/an), moins important dans des paysages bocagers et agricoles (2-5 chauves-souris impactées/éolienne/an) et encore plus faible dans des plaines agricoles homogènes (0-3 individus impactés/éolienne/an). Le contexte paysager du parc éolien de Bois Ballay est assimilable à la deuxième configuration décrite par cet auteur.

En 2020, la mortalité réelle estimée par les formules de Erickson *et al.* (2005), Huso (2010) et Bastos *et al.* (2013) pour les chiroptères sur le parc éolien de Bois Ballay est plus élevée que les chiffres trouvés dans la bibliographie, pour les éoliennes B1, B3, B4 et B5. Seule l'éolienne B2, sous laquelle aucun cadavre de chiroptère n'a été retrouvé, présente une mortalité estimée conforme à la bibliographie (Bastos *et al.*, 2013).

II.6.2. Mortalité réelle des oiseaux sur le parc éolien de Bois Ballay

Les formules présentées précédemment ont été appliquées sur l'ensemble des données brutes de mortalité des oiseaux afin de calculer leur mortalité réelle estimée sur le parc (Tableau 6).

Eolienne	Nombre de cadavres	Mortalité estimée, Erickson <i>et al.</i> (2005)	Mortalité estimée, Huso (2010)	Mortalité estimée, Bastos <i>et al.</i> (2013)
B1	1	4,1	6,8	3,4
B2	0	-	-	1,8
B3	0	-	-	2,0
B4	1	4,8	8,0	3,9
B5	1	4,1	6,8	3,4
Parc	3	12,7	21,1	10,9
Nombre d'oiseaux/éolienne		3,2	5,3	2,7
Intervalles de confiance à 95%		0,1	0,2	0,2

Tableau 6 : Mortalité réelle estimée des oiseaux, selon les différentes formules, sur le parc éolien de Bois Ballay, entre mai et octobre 2020. Les éoliennes indiquées en vert présentent une mortalité conforme et celles indiquées en jaune une mortalité parfois élevée selon la formule utilisée, par rapport à la bibliographie (Marx, 2017).

En utilisant les biais testés sur le parc éolien, la mortalité réelle des oiseaux sur le parc éolien de Bois Ballay est estimée entre 2,7 (Erickson *et al.*, 2005) et 5,3 (Huso, 2010) oiseaux tués par éolienne, sur la période étudiée, de mai à octobre 2020.

Une mortalité brute de 2,2 oiseaux/éolienne/an, avec une mortalité réelle estimée moyenne de 7 oiseaux/éolienne/an est attendue (Marx, 2017). En 2020, la mortalité estimée des oiseaux sur le parc éolien de Bois Ballay est donc conforme aux chiffres indiqués dans la bibliographie.

II.7. Sensibilité des espèces retrouvées sur le parc éolien de Bois Ballay

II.7.1. Calcul de la note de risque

Pour les oiseaux, la note de sensibilité à l'activité éolienne est déterminée en fonction de la mortalité européenne constatée (Dürr, 2020), pondérée par l'abondance relative de l'espèce, c'est-à-dire le nombre de couple nicheurs en Europe (BirdLife International) :

- Mortalité représentant plus de 1% du nombre de couples nicheurs : note de 4
- Mortalité représentant entre 0,1% et 1% du nombre de couples nicheurs : note de 3
- Mortalité représentant entre 0,01% et 0,1% du nombre de couples nicheurs : note de 2
- Mortalité représentant entre 0,001% et 0,01% du nombre de couples nicheurs : note de 1
- Mortalité représentant moins de 0,001% du nombre de couples nicheurs : note de 0

Pour les chiroptères, la note de sensibilité à l'activité éolienne est le rapport entre la mortalité européenne constatée de l'espèce sur celle toutes espèces de chiroptères confondues (Dürr, 2020) :

- Mortalité de l'espèce représentant plus de 5% de la mortalité totale : note de 4
- Mortalité de l'espèce représentant entre 0,5% et 5% de la mortalité totale : note de 3
- Mortalité de l'espèce représentant entre 0,1% et 0,5% de la mortalité totale : note de 2
- Mortalité de l'espèce représentant moins de 0,1% de la mortalité totale : note de 1

Enfin, la note de risque, ou vulnérabilité à l'éolien, est le résultat du croisement entre l'enjeu de conservation d'une espèce au niveau national (IUCN, 2017) et sa sensibilité avérée à l'activité des parcs éoliens, selon la matrice ci-après.

	Espèce non protégée	Sensibilité à l'éolien				
		0	1	2	3	4
Enjeu de conservation	DD, NA, NE	0,5	1	1,5	2	2,5
	LC	1	1,5	2	2,5	3
	NT	1,5	2	2,5	3	3,5
	VU	2	2,5	3	3,5	4
	CR, EN	2,5	3	3,5	4	4,5
			0,5			

Tableau 7 : Calcul de la note de risque d'une espèce à l'éolien, en fonction de sa sensibilité et de son statut de conservation à l'échelle nationale

II.7.2. Vulnérabilité des espèces retrouvées sur le parc de Bois Ballay



Figure 4 : Alouette des champs
(© Sens Of Life)

L'**Alouette des champs** (*Alauda arvensis*) est une espèce inscrite en annexe III de la Convention de Berne et en annexe II/2 de la Directive Oiseaux. Elle est classée comme « Quasi-menacée » sur la liste rouge des oiseaux nicheurs de France métropolitaine, mais non menacée au niveau régional (Liste rouge des oiseaux nicheurs de la région Centre, 2013). On recense 385 cas de mortalité en Europe, dont 91 en France (Dürr, 2020). **La note de risque de cette espèce est faible (1,5/4,5)**. Lors des suivis de mortalité sur le parc éolien de Bois Ballay, deux individus ont été retrouvés morts, l'un le 22 mai 2020 sous B5 et l'autre, un adulte, le 23 juillet 2020 sous B1.



Figure 5 : Bergeronnette printanière
(© Sens Of Life)

La **Bergeronnette printanière** (*Motacilla flava*) est une espèce protégée, inscrite en annexe II de la Convention de Berne. Elle n'est pas considérée comme menacée, ni au niveau national ni au niveau régional. On recense 12 cas de mortalité en Europe, dont 4 en France (Dürr, 2020). **La note de risque de cette espèce est faible (1/4,5)**. Lors des suivis de mortalité sur le parc éolien de Bois Ballay, un adulte a été retrouvé mort le 10 juillet 2020 sous B4.



Figure 6 : Pipistrelle commune.
CCO domaine public.

La **Pipistrelle commune** (*Pipistrellus pipistrellus*) est une espèce d'intérêt communautaire (annexe IV de la Directive Habitats, annexes II de la convention de Bonn et de la convention de Berne, annexe I de la directive EUROBATS). Cette espèce est classée comme « Quasi-menacée » sur la Liste rouge UICN France métropolitaine mais non menacée à l'échelle régionale (Liste rouge des chauves-souris de la région Centre-Val de Loire, 2012). L'espèce étant liée à des zones fortement anthropisées, les éoliennes à proximité des habitations ont une forte incidence sur

l'espèce, avec une mortalité élevée par collision avec les pales des éoliennes ou par barotraumatisme, et les éoliennes situées à proximité de lisières dont le champ de rotation des pales est proche des supports d'écholocation de l'espèce (lisière, canopée etc.) semblent être les plus à risque. Concernant la mortalité, 2 431 cas ont été attribués de manière certaine à la Pipistrelle commune en Europe, dont 1 012 en France. C'est l'espèce dont les cas de mortalités relevés par Dürr (2020) sont les plus nombreux en Europe. **La note de risque pour cette espèce est très élevée (3,5/4,5)**. Lors des suivis de mortalité sur le parc éolien de Bois Ballay, 3 individus ont été retrouvés morts pendant la période de mise bas et d'élevage des jeunes, l'un le 13 août 2020 sous B1 et deux le 20 août 2020 sous B5.

La **Pipistrelle de Nathusius** (*Pipistrellus nathusii*) est également une espèce d'intérêt communautaire (annexe IV de la Directive Habitats, annexes II de la convention de Bonn et de la convention de Berne, annexe I de la directive EUROBATS). Cette espèce est classée « Quasi menacée » sur la liste rouge des mammifères continentaux de France métropolitaine (2017), ainsi que sur la Liste rouge des chauves-souris de la région Centre-Val de Loire (2012). Elle est la deuxième plus impactée en Europe avec 1 617 cas de mortalité, dont 276 en France (Dürr, 2020) et les éoliennes situées le long des grands axes migratoires semblent être les plus à risque. **La note de risque de cette espèce est très élevée pour cette espèce (3,5/4,5)**. Lors des suivis de mortalité sur le parc éolien de Bois Ballay, deux adultes ont été retrouvés morts : le premier le 23 juillet 2020 sous B4, soit pendant période de mise-bas et d'élevage des jeunes et le deuxième le 10 septembre 2020 sous B3, soit pendant la migration automnale.



Figure 7 : Pipistrelle de Nathusius. CCO domaine public.



Figure 8 : Noctule commune. CCO domaine public.

La **Noctule commune** (*Nyctalus noctula*) est une espèce d'intérêt communautaire (annexe IV de la Directive Habitats, annexe II de la Convention Bonn, annexe I de l'accord EUROBATS et annexe II de la Convention de Berne), classée comme « Vulnérable » sur la Liste rouge UICN France métropolitaine et comme « Quasi menacée » sur la liste rouge régionale. Elle est la troisième plus impactée en Europe avec 1 558 cas de mortalité, dont 104 en France (Dürr, 2020). **La note de risque est très élevée pour cette espèce (4/4,5)**. Lors des suivis de mortalité sur le parc éolien de Bois Ballay, un adulte a été retrouvé mort le 20 août 2020 sous B5, soit à la fin de la période de parturition et au début de la migration automnale.

Synthèse du suivi de mortalité du parc éolien de Bois Ballay

Au total, 12 collisions ont été constatées sur le parc éolien de Bois Ballay en 2020.

Parmi eux, on dénombre trois oiseaux, deux **Alouettes des champs** (*Alauda arvensis*), dont la note de risque est de 1,5/4,5, et une **Bergeronnette printanière** (*Motacilla flava*), dont la note de risque est de 1/4,5. Une fois cette mortalité brute corrigée avec les biais de prédation et d'observateur, ainsi qu'avec la surface réellement prospectée, la mortalité réelle estimée des oiseaux sur le parc éolien de Bois Ballay varie **entre 2,7** (Erickson *et al.*, 2005) **et 5,3** (Huso, 2010) **oiseaux tués par éolienne**, sur la période étudiée, de mai à octobre 2020. En 2020, la mortalité réelle estimée des oiseaux sur le parc éolien Bois Ballay est donc **conforme** aux chiffres trouvés dans la bibliographie (Marx, 2017).

On trouve également 9 chiroptères parmi les cadavres retrouvés au sol : trois **Pipistrelles communes** (*Pipistrellus pipistrellus*), deux **Pipistrelles de Nathusius** (*Pipistrellus nathusii*), une **Noctule commune** (*Nyctalus noctula*), deux **Pipistrelles** indéterminées et un chiroptère indéterminé. Les notes de risque sont de 3,5/4,5 pour les Pipistrelles et de 4/4,5 pour la Noctule commune. Une fois la mortalité brute corrigée avec les biais de prédation et d'observateur, ainsi qu'avec la surface réellement prospectée, la mortalité réelle estimée des chiroptères sur le parc éolien de Bois Ballay varie **entre 9,6** (Bastos *et al.*, 2013) **et 23,0** (Huso, 2010) **chiroptères tués par éolienne**, sur la période étudiée, de mai à octobre 2020. Ces résultats sont supérieurs aux chiffres trouvés dans la bibliographie (Rydell *et al.*, 2010a).

III. Discussion

III.1. Sensibilité des oiseaux à l'éolien

L'effet des parcs éoliens sur l'avifaune est très variable et dépend de plusieurs facteurs :

- La phénologie des espèces (hivernage, nidification, passage migratoire ou oiseaux sédentaires) et les modalités d'utilisation du site par les oiseaux ;
- La sensibilité des espèces aux différents effets potentiels de l'activité éolienne :
 - o Effets directs (Smith & Dwyer, 2016) : la collision directe avec les pales d'éoliennes, causant la mort des individus,
 - o Effets indirects (Smith & Dwyer, 2016) : les perturbations ou dérangements, qui provoquent l'évitement de ces infrastructures et se manifestent de différente façon : la perte d'habitat et l'effet « barrière ».
- Les caractéristiques du projet (nombre et positionnement des éoliennes, hauteur des mâts, orientation du parc...), de l'environnement local (Kitano & Shiraki, 2013) et des conditions météorologiques (Barrios & Rodríguez, 2004 ; de Lucas *et al.*, 2008 ; Kerlinger *et al.*, 2010).

Les données de la littérature scientifique internationale sur les suivis de parcs éoliens en phase d'exploitation permettent d'apprécier des sensibilités divergentes pour deux catégories d'espèces :

- Une première sensible aux perturbations engendrées par ces infrastructures, qui subissent l'effet « barrière », l'éloignement, voire de dérangement au nid, et donc au risque de perte de territoire vital. Ces espèces farouches sont en général peu sensibles au risque de collision ;
- La seconde, à l'inverse, avec des espèces sensibles aux risques de collision avec les pales, qui sont moins concernées par les effets d'évitement (Grünkorn *et al.*, 2009), de perte de territoire ou de dérangement.

Cette approche caricaturale nécessite beaucoup de précautions dans l'analyse des impacts d'un projet éolien. Les paragraphes suivants détaillent l'état actuel des connaissances sur les sensibilités de l'avifaune en fonction des espèces, et de leur statut sur site.

III.1.1. Collision

En comparaison avec d'autres origines anthropiques (lignes électriques, routes, prédation par les animaux domestiques, chasse, pesticides...), les parcs éoliens ont un faible impact sur la mortalité directe de l'avifaune (Erickson *et al.*, 2005 ; Loss *et al.*, 2015) (Tableau 8).

Le risque de collision avec les éoliennes est très variable et dépend :

- De la sensibilité des espèces, avec plusieurs groupes impactés (migrateurs : Johnson *et al.*, 2003 ; déclin d'une population de *Lyrurus tetrix* : Zeiler & Grünschachner-Berger, 2009 ; les rapaces : de Lucas *et al.*, 2008 ; Hernández-Pliego *et al.*, 2015 ; les oiseaux chanteurs : Morinha *et al.*, 2014).
- De la saison (Barrios & Rodríguez, 2004) ;
- Des caractéristiques du site d'étude (de Lucas *et al.*, 2008 ; Marques *et al.*, 2014 ; Thaxter *et al.*, 2017)

Cette affirmation est confirmée au niveau national par de nombreuses publications scientifiques, comme le confirme la synthèse des suivis de mortalité réalisée par la LPO sur 12,5% des parcs éoliens en exploitation en France (Marx, 2017).

Cause de mortalité en France (LPO, AMBE – 2010)	Estimation de la mortalité annuelle	
Ligne HT (> 63 kV)	80 à 120 oiseaux / km / an (en zone sensible) / réseau aérien de 10 000 km : estimation = 8 à 12 millions / an.	
Ligne MT (20 à 63 kV)	40 à 100 oiseaux / km / an (en zone sensible) / réseau aérien de 460 000 km : estimation = 18 à 46 millions / an.	
Autoroute	30 à 100 oiseaux / km / an / réseau terrestre de 10 000 km : estimation = 300 000 à 1 million / an.	
Cause de mortalité aux USA (Erickson et al. 2005)	Estimation de la mortalité annuelle	Pourcentage
Bâtiments et fenêtres	550 000 000	58,20%
Installations électriques (pylônes et câbles)	130 000 000	13,70%
Chats (prédation)	100 000 000	10,60%
Véhicules (trafic routier)	80 000 000	8,50%
Antennes et tours de communication	4 500 000	0,50%
Eoliennes	28 500	<0,01%
Avions	25 000	<0,01%
Autres causes (marées noires, pêches accidentelles, etc.)	Non calculée	Non calculé

Tableau 8 : Comparaison indicative des différentes causes de mortalité anthropique de l'avifaune en France (en haut, LPO, AMBE - 2010) et aux Etats-Unis (en bas, Erickson et al., 2005)

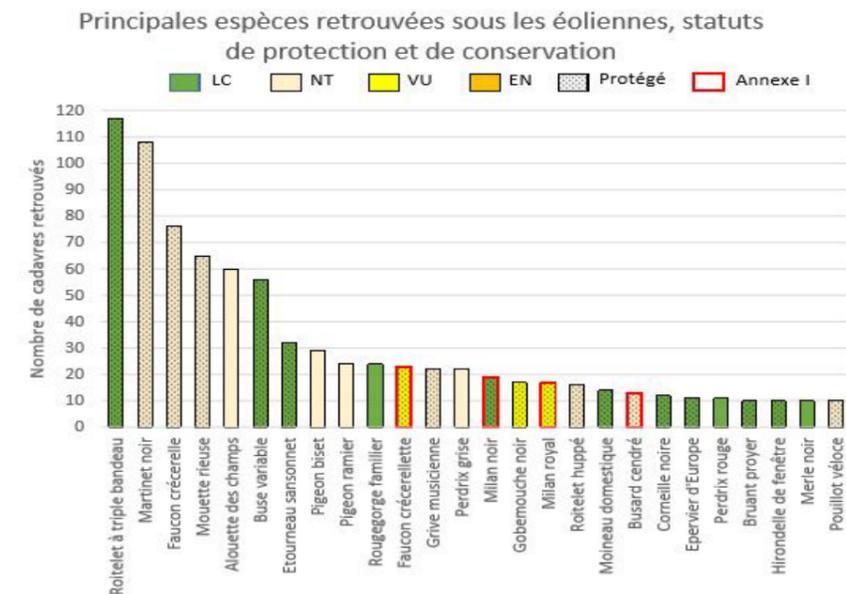
Le manque de standardisation de protocoles de suivi de mortalité et la robustesse très variable de ces suivis (Marx, 2017) empêchent d'avoir des chiffres de mortalité représentatifs par pays. En France, les données varient entre 0,74 oiseau/éolienne/an (sur les 91 parcs qui ont réalisé des suivis de mortalité entre 1997 et 2015) et 2,15 oiseaux/éolienne/an (sur les 9 parcs analysés avec des suivis plus robustes, réalisés sur 48 semaines avec 1 prospection/semaine et un rayon de 50 mètres).

Le nombre de cadavres dans le monde est inconnu (Pagel *et al.*, 2013), mais ceux comptabilisés jusqu'à présent en Europe s'élèvent à 15 017 oiseaux de plus de 250 espèces différentes, dont 5 545 cas de mortalité en Espagne, 4 196 cas en Allemagne, 1 791 cas en Belgique et 1 391 cas en France (Dürr, 2020).

Les espèces les plus touchées en Europe (Dürr, 2020) sont :

- Le Vautour fauve (quasi exclusivement en Espagne),
- Le Goéland argenté puis la Mouette rieuse (en Belgique essentiellement),
- La Buse variable (en Allemagne principalement),
- La Mouette rieuse (en Belgique principalement),
- Le Milan royal (en Allemagne principalement),
- Le Faucon crécerelle (en Espagne et en moindre mesure en France et Allemagne),
- Le Martinet noir (surtout en France et en Allemagne),
- L'Alouette des champs (surtout en Allemagne, France et Espagne),
- Le Canard colvert (en Allemagne principalement),
- Le Pygargue à queue blanche (en Allemagne principalement),
- Le Bruant proyer (en Espagne principalement).

Même si le nombre de cadavres augmente à chaque actualisation de la synthèse des données de mortalité en Europe réalisée par Tobias Dürr, l'ordre du classement reste sensiblement le même depuis 2015, confirmant la sensibilité de ces espèces à l'impact éolien.



Graphique 8 : Principales espèces retrouvées sous les éoliennes en France (Marx, 2016)

En France, les oiseaux les plus impactés par les éoliennes sont les Passériformes, avec 49,3% des cadavres totaux (Marx, 2017). Les espèces les plus sensibles sont les suivantes (Dürr, 2020 ; Marx, 2017) :

- Le Roitelet triple-bandeau (en migration postnuptiale essentiellement),
- Le Martinet noir (envol des jeunes et migration),
- Le Faucon crécerelle (espèce la plus touchée au niveau de la population nationale),
- L'Alouette des champs,
- La Buse variable (en migration postnuptiale essentiellement),
- La Mouette rieuse,
- L'Étourneau sansonnet...

Pour les oiseaux migrateurs, le risque de collision peut dépendre de la hauteur de déplacement, de la phénologie migratoire des espèces (solitaire, en groupes familiaux, sociaux, etc.), mais aussi de l'importance du flux migratoire (probabilité de collision proportionnelle aux effectifs). Le rapport entre intensité de la migration et nombre de victimes de collisions, au sein de la période de migration n'est cependant pas toujours vérifié, et est plus complexe qu'on ne le pensait jusqu'à présent. Les conditions de visibilité, dépendantes de la météo, jouent certainement un grand rôle (Aschwanden *et al.*, 2018). Le risque de collision dépend donc des éoliennes, certaines étant plus impactantes que d'autres, par leur emplacement ou leur disposition (en zone de nidification d'une espèce sensible, perpendiculaire aux axes migratoires majeurs, mât treillis...) (Thaxter *et al.*, 2017 ; Marques *et al.*, 2020).

Les oiseaux sédentaires et nicheurs semblent intégrer la présence des éoliennes sur leur territoire et se tiennent en général à distance des turbines (100-300 m) (Strickland *et al.*, 2001 ; Winkelmann, 1992 ; Thomas, 2000) sauf en cas de facteur attractif à proximité comme des champs labourés ou moissonnés qui augmentent les ressources alimentaires (Janss, 1998 ; Pedersen & Poulsen, 1991 ; Winkelmann, 1985). Les oiseaux semblent toutefois capables de percevoir si les éoliennes sont en fonctionnement et de réagir en conséquence (Albouy *et al.*, 1997), bien que certaines espèces apparaissent moins aptes à prendre en compte la présence des éoliennes lorsqu'ils sont concentrés sur une proie (cas notamment des vautours et des milans qui ne nichent pas près du parc). La sensibilité varie néanmoins d'une espèce à l'autre suivant son mode de vie et sa façon de percevoir un parc éolien dans son environnement. Les espèces les plus sensibles aux collisions sont souvent aussi celles qui sont les moins farouches. Inversement, les espèces les plus sensibles au risque d'évitement ou aux effets « barrière », sont aussi les moins sensibles au risque de collision.

Les rapaces et les migrateurs nocturnes sont généralement considérés comme les plus exposés au risque de collision avec les éoliennes (Curry & Kerlinger, 1998 ; Hill *et al.*, 2014). Les collisions peuvent être plus fréquentes la nuit, les migrateurs étant attirés par les lumières des éoliennes, ou par mauvais temps, lorsqu'ils sont obligés de voler à faible hauteur. Cependant, l'utilisation de lumière rouge n'a pas d'impact sur le taux de collision des migrateurs nocturnes (Kerlinger *et al.*, 2010).

Durant une journée de migration typique, l'aube et le crépuscule sont des périodes durant lesquelles les oiseaux risquent d'entrer en collision avec les structures des parcs éoliens, car leur altitude varie beaucoup (Richardson, 1998 ; Langston & Pullan, 2003).

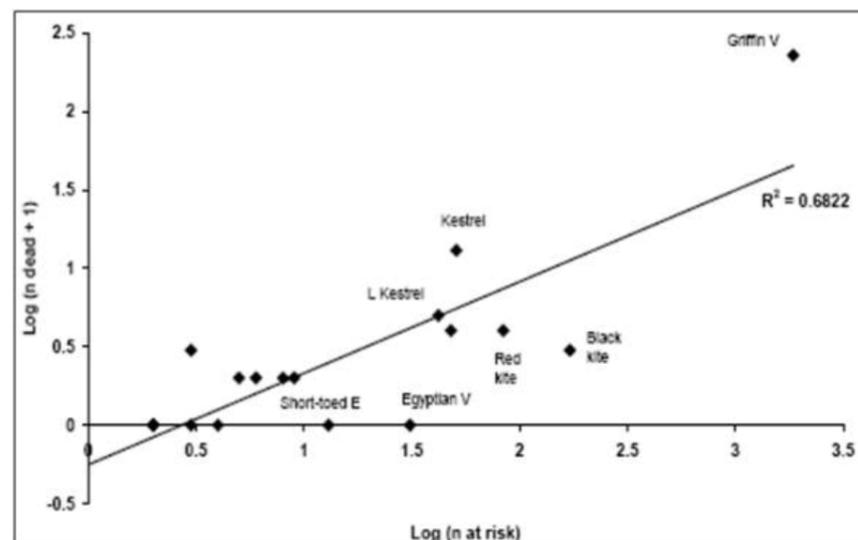


Figure 9 : Roitelet à triple bandeau
(© Sens Of Life).

Le degré de sensibilité générale de l'avifaune migratrice est donné ci-dessous :

- De novembre à janvier : sensibilité très faible à nulle,
- En février : sensibilité faible à moyenne,
- **De mars à avril : sensibilité moyenne,**
- En mai : sensibilité faible à moyenne,
- De juin à juillet : sensibilité faible,
- **D'août à octobre : sensibilité forte en raison des effectifs plus importants.**

Une étude de corrélation (Whitfield & Madders, 2006), entre les comportements de vols à risques et la mortalité observée sur 13 parcs éoliens du nord de l'Espagne pendant 3 ans (Lekuona & Ursua, 2006) permet une appréciation comparative des sensibilités au risque de collision pour les rapaces diurnes. Le graphique suivant apporte une vision synthétique des résultats, que les suivis de mortalité ne confortent pas toujours.



Graphique 9 : Corrélation entre le nombre de rapaces avec un comportement à risque et la mortalité, pendant 3 ans sur 13 parcs éoliens au nord de l'Espagne (Lekuona & Ursua, 2006).

Pour pallier le risque de collision des oiseaux sur les pales d'éoliennes, une étude menée par des chercheurs du Norwegian Institute for Nature research (NINA) a été menée entre 2006 et 2016, sur un parc éolien de l'archipel de Smøla en Norvège. Sur les 68 turbines en place sur le site, 4 ont vu une de leur pale peinte en noir, et les résultats des 9500 suivis réalisés durant les 10 années ont montré que ces quatre éoliennes affichaient un taux de mortalité réduit de 70% par rapport aux autres éoliennes du parc. En effet, une pale peinte en noir permettrait à l'éolienne d'être beaucoup plus visible et plus facilement détectable par un oiseau en vol. On notera qu'il s'agit d'extrapolations à partir de peu d'oiseaux retrouvés morts et peu d'éoliennes expérimentales, et que cette étude concerne principalement les rapaces et notamment le Pygargue à queue blanche. Cette solution semble prometteuse et devrait être développée sur d'autres parcs afin d'évaluer son efficacité avec plus de précisions (May *et al.*, 2020).



Figure 10 : éolienne avec une pale peinte en noire.

La collision des oiseaux avec les pales est l'impact le plus couramment cité lorsque l'on évoque l'énergie éolienne (American Wind Wildlife Institute, 2016). Il s'agit, en effet, de l'impact le plus facile à constater ; pour autant, il n'est pas certain qu'il soit le plus préjudiciable à la bonne conservation des populations d'oiseaux. Le dérangement des espèces nicheuses en phase d'exploitation a probablement un impact plus néfaste sur les espèces les plus patrimoniales, en particulier celles à maturité lente et à faible productivité annuelle (Gaultier *et al.*, 2019).

III.1.2. Perte d'habitat

La bibliographie révèle des effets variables sur la perte d'habitat de l'avifaune avant et après l'implantation des parcs éoliens (Schuster *et al.*, 2015). Les effets positifs découlent d'une modification d'habitat qui pourrait améliorer la qualité du milieu pour certaines espèces et les attirer (Pearce-Higgins *et al.*, 2012) ; (Shaffer & Buhl, 2016) et les négatifs, les plus communs, sont souvent liés à un dérangement provoquant un déplacement (Osborn *et al.*, 1998 ; Leddy *et al.*, 1999 ; Smith & Dwyer, 2016).

Il s'agit principalement de destruction ou d'altération d'habitats naturels ou d'habitats d'espèces, et de destruction de stations végétales. Ils ne se distinguent pas sensiblement des effets des autres types d'aménagements et d'infrastructures mais il faut toutefois prêter une attention particulière au fait que les parcs sont installés sans connexion avec le tissu urbanisé ou industrialisé, dans les milieux agricoles ou naturels et que de ce fait les perturbations sur les milieux ou sur les espèces peuvent être plus importants que d'autres types d'aménagements et d'infrastructures qui s'implantent dans des zones où l'état de la biodiversité peut être davantage dégradé (Perret, 2017).

Les oiseaux friands d'espaces ouverts évitent les structures verticales telles que les éoliennes. A proximité de celles-ci, ils se sentent souvent dérangés. Ces situations de stress chez les hôtes hivernants ou les migrateurs en escale peuvent générer un affaiblissement physique, qui réduit leurs chances de survie. Les oiseaux nicheurs n'ont en général qu'un taux de reproduction médiocre en cas de stress, ce qui peut avoir pour effet une diminution, voire une disparition, des populations locales (Vogelwarte, 2016). Les éoliennes peuvent être assimilées par certains oiseaux comme reposoirs de rapaces (Kreuziger, 2008). D'autres espèces sont dérangées par le bruit des machines ou des travaux de construction (Larsen & Madsen, 2000 ; Garvin *et al.*, 2011 ; Johnston *et al.*, 2014).

La corrélation positive entre la hauteur des éoliennes et la distance d'évitement est moins importante pour les oiseaux nicheurs (Hötter *et al.*, 2006). En effet, plusieurs études soulignent la capacité d'adaptation des espèces à la présence des éoliennes (Percival, 1998 ; Guyonne & Clave, 2000 ; Kingsley & Whittam, 2001 ; James & Coady, 2004), avec une diminution progressive de la distance d'éloignement.

L'incidence critique de nombreuses activités humaines (dont un projet éolien fait partie) sur les oiseaux en période de nidification ou de migration est le risque de modifications comportementales à un moment particulièrement vulnérable du cycle biologique des oiseaux (vulnérabilité des couvées et des jeunes, forte activité des parents qui peut se traduire par l'abandon de la phase de nidification, voire de l'habitat, abandon des zones de halte migratoire) (Schuster *et al.*, 2015 ; Smith & Dwyer, 2016).

Le risque de modification comportementale pourra avoir un caractère soit temporaire, lié aux dérangements occasionnés par les travaux d'installation des éoliennes, soit permanent, directement lié au fonctionnement des éoliennes. Les aménagements associés à la construction des parcs comme la création de routes d'accès peuvent également générer une perte d'habitat (Larsen & Madsen, 2000).

Avant la ponte, ces modifications de comportement peuvent varier d'une modification de la répartition du site entre les individus (incidence patrimoniale faible) à un abandon du nid, voire du site (incidence patrimoniale forte). Pour certaines espèces reconnues comme très sensibles ou remarquables à l'échelle européenne, nationale ou régionale, l'abandon d'un territoire nuptial peut porter directement atteinte à la dynamique des populations, et indirectement à la pérennité de l'espèce (Smith & Dwyer, 2016). A cet égard, les rapaces sont particulièrement sensibles au début de la période de nidification (Gensbol, 2004).

Mais c'est plutôt après la ponte que la vulnérabilité de l'espèce est la plus marquée (activité fortement consommatrice d'énergie pour les parents et fragilité des œufs et des jeunes). Si les travaux d'implantation des éoliennes interviennent alors que la nidification est commencée, le risque le plus important est l'abandon des œufs ou des jeunes par les parents. Les chances d'un remplacement de la nichée abandonnée sont alors très réduites, d'autant plus que la nichée initiale était avancée (stress et fatigue des parents, intensification progressive des contraintes climatiques, diminution des ressources trophiques).

En ce qui concerne la phase d'exploitation des éoliennes, son impact résultera du rapport entre les implantations précises des machines et l'occupation du site par les oiseaux en comportement nuptial (défense du territoire nuptial, parade nuptiale, recherche de matériaux pour la construction des nids, recherche de nourriture...). Des modifications de comportements peuvent également avoir lieu. Là encore, pour les espèces les plus sensibles, une simple modification de comportement après la ponte, voire un abandon des jeunes, peut porter directement atteinte à la dynamique des populations de l'espèce en question et indirectement à sa pérennité.



Figure 11 : Aigle royal (CCO domaine public).

Le suivi par GPS d'un couple d'Aigle royal a permis d'étudier leur comportement suite à l'implantation de plusieurs parcs éoliens sur leur domaine et a permis de conclure que : bien qu'il soit difficile de généraliser à partir du suivi d'un seul couple, cet exemple montre que l'installation de trois parcs éoliens sur un territoire d'aigle a un impact significatif sur l'organisation de ses déplacements et sur le choix de ses zones de chasses. Globalement, la construction de parcs éoliens génère une perte d'habitats pour les aigles et perturbe leurs déplacements d'une zone à l'autre (Itty & Duriez, 2017). Il serait intéressant d'étudier si la mise en place de mesures de compensation comme les placettes d'alimentation ou les garennes à lapin à l'extérieur des zones d'implantation des parcs n'ont pas également eu un impact sur la modification de l'aire vitale de l'Aigle royal. Une étude similaire avait été menée par la LPO Aude de 1998 à

2007 et avait également aboutie aux mêmes conclusions de pertes d'habitat pour l'Aigle royal, dans une autre région de France (Riols-Loyrette, 2015). Cette perte d'habitat fonctionnel a également été constatée pour des Milans noirs suite à l'implantation d'éoliennes au Portugal (Marques *et al.*, 2020)

L'éloignement des zones de reproduction est donc recommandé pour les espèces les plus sensibles et qui revêtent un caractère patrimonial marqué. L'intérêt de cette mesure consiste à éviter de créer des situations à risque au sein des zones les plus fréquentées entre zones de reproduction et zones d'alimentation à une

période cruciale du cycle biologique des oiseaux, mais aussi parfois pour des raisons de risques directs de dérangement au nid (en période de travaux et en phase d'exploitation).

La littérature existante sur les autres impacts des parcs éoliens souligne les effets indirects sur le succès reproducteur, la survie des individus ou encore les interférences dans la communication entre individus à cause du bruit des machines (Smith & Dwyer, 2016).

III.1.3. Effet barrière

L'effet barrière correspond à la modification du comportement de vol des oiseaux pour éviter un obstacle, et se matérialise par différentes réactions : déviation de la trajectoire dans l'axe horizontal (ADEME, 1999 ; Curry & Kerlinger, 1998 ; Dirksen *et al.*, 2000 ; Percival, 2001 ; Winkelman, 1985), dans l'axe vertical ou bien franchissement entre les obstacles.

Le taux de réaction est proportionnellement plus important pour les éoliennes érigées de façon perpendiculaire à l'axe migratoire (Johnson *et al.*, 2003) car elles constituent un barrage que les oiseaux doivent franchir. La position des parcs par rapport aux axes migratoires (perpendiculaire ou parallèle par exemple) est donc un facteur important (Albouy *et al.*, 2001 ; Larsen & Madsen, 2000). Les caractéristiques météorologiques (plafond nuageux bas, nappes de brouillards persistants, vent de face) peuvent conduire à des situations plus risquées.

L'impact dépend des espèces concernées, de la hauteur du vol, de la distance aux éoliennes, de l'heure de la journée, de la force et de la direction du vent, et ces réactions nécessitent une dépense d'énergie supplémentaire qui vient s'ajouter aux multiples efforts et risques rencontrés lors des voyages migratoires.

Des évitements fréquents ont été observés chez les canards et les oies (Larsen & Madsen, 2000 ; Loesch *et al.*, 2013), un peu moins chez les échassiers et les grives, dont certaines migrent la nuit, et les corvidés (Dooling & Lohr, 2000 ; Winkelman, 1985).

Il faut considérer les risques de collision et d'effarouchement comme les deux faces d'une même pièce. Les oiseaux qui ne montrent pas de réaction d'évitement par rapport aux éoliennes seront souvent plus sujets aux collisions que ceux qui sont effarouchés. Les grues cendrées, par exemple, peuvent être considérées comme sensibles à l'effarouchement dans le sens où elles ont tendance à contourner les parcs (le plus souvent bien en amont et sans montrer de réaction vive). De fait, aucun cadavre de Grue cendrée n'a, à ce jour, été répertorié en France et seuls 27 cadavres ont été recensés en Europe (Dürr, 2020 ; Marx, 2017). Cependant, cette faible mortalité constatée résulte en partie du faible nombre d'éoliennes implantées jusqu'ici sur le couloir de migration ou à proximité des sites d'hivernage des grues cendrées et du faible nombre de rapports de suivis de mortalité disponibles. Le coût engendré par le contournement des parcs éoliens reste un domaine de recherche à explorer (Gaultier *et al.*, 2019). Les cygnes en migration semblent également sensibles à l'effet barrière puisqu'ils contournent les sites d'implantation (Moriguchi *et al.*, 2019). Le nombre de collisions est supérieur aux extrémités des alignements d'éoliennes (Anderson *et al.*, 2001 ; Cade, 1994 ; Thelander & Rugge, 2000). Les distances de réaction varient de 300 à 500 mètres des éoliennes pour la majorité des migrateurs diurnes (contre 20 mètres pour les migrateurs nocturnes) (Albouy *et al.*, 1997 ; Winkelman, 1994). Des effets indirects cumulatifs peuvent être envisagés lorsqu'une modification de la trajectoire initiale implique de nouveaux obstacles (lignes électriques à haute tension par exemple).

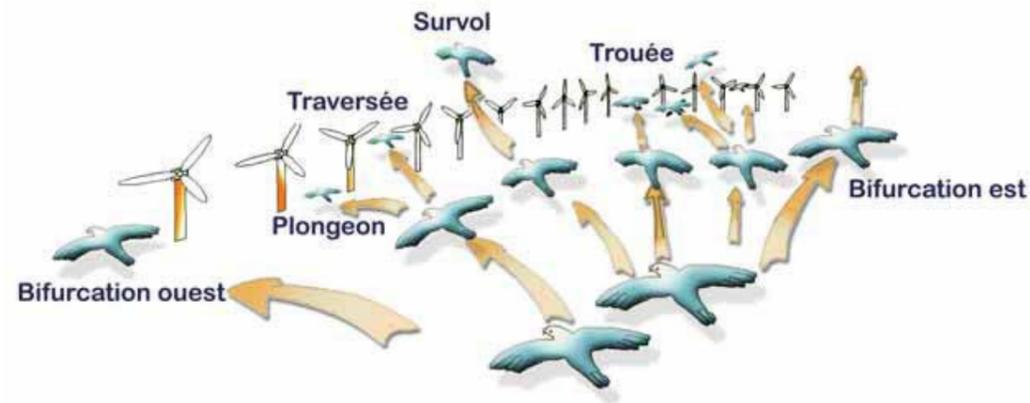


Figure 12 : Stratégie de franchissement d'un parc éolien sur le littoral audois (source : LPO Aude, 2001)

L'impact doit être évalué à la fois au cours des migrations prénuptiales et postnuptiales puisqu'une même espèce n'utilise pas forcément le même axe migratoire au printemps et à l'automne. Néanmoins, le risque peut apparaître plus important pour les migrations postnuptiales, puisqu'il s'agit des premiers mouvements migratoires pour les jeunes de l'année, plus fragiles et plus exposés aux dangers divers de la migration. Le flux migratoire postnuptial est également numériquement plus important. Il semblerait que les vols postnuptiaux s'effectuent généralement à plus faible hauteur qu'en période prénuptiale (tendance mise en évidence par le biais de suivis radar, selon Greet Ingénierie, 2006).

III.2. Sensibilité des chiroptères à l'éolien

III.2.1. Généralités

Les premiers cas de mortalité de chiroptères provoqués par des éoliennes ont été décrits au début des années 70 (Hall & Richards, 1972). Cependant, il a fallu attendre le milieu des années 1990 pour voir apparaître les premières études consacrées à l'impact des parcs éoliens sur les chauves-souris. Elles ont été menées aux Etats-Unis, principalement dans le Minnesota, l'Oregon et le Wyoming (Johnson *et al.*, 2003; Osborn *et al.*, 1996 ; Puzen, 2002).

En Europe, des études sur le sujet ont vu le jour à la suite des protocoles de suivi sur la mortalité des oiseaux, qui ont révélé des cas de collision avec les chauves-souris. Ces études se sont déroulées principalement en Allemagne (travaux de Bach, 2001 ; Bach *et al.*, 1999 ; Brinkmann *et al.*, 2006 ; Dürr, 2002) et en Espagne (Alcalde, 2003 ; Lekuona, 2001). L'étude de cette problématique a été plus tardive en France (Beucher *et al.*, 2011 ; Cornut & Vincent, 2010 ; Dulac, 2008 ; Lagrange *et al.*, 2009 ; Rico *et al.*, 2012 ; Rico & Lagrange, 2011 ; Allouche *et al.*, 2010). Depuis, ces suivis de mortalité se sont répandus en Europe. Dans sa dernière publication « Guidelines for consideration of bats in wind farm projects, Revision 2014 » et ses annexes, le groupe de travail EUROBATS propose une compilation aussi exhaustive que possible de ces travaux à travers l'Europe.

La compilation chiffrée des données disponibles est régulièrement mise à jour, au niveau européen, par T. Dürr. Certaines études montrent une mortalité plus importante sur les chiroptères que sur les oiseaux (Smallwood, 2013) : aux Etats-Unis, la mortalité annuelle évaluée sous les éoliennes serait de 888 000 chauves-souris pour 573 000 oiseaux. Cette sensibilité particulière des chiroptères à l'éolien pourrait être due à plusieurs phénomènes :

- Une possible attraction des chauves-souris par les éoliennes, notamment par les insectes concentrés autour des parties chaudes des éoliennes (Bennett *et al.*, 2017 ; Foo *et al.*, 2017). Les pics d'activité des chiroptères sont liés à l'essaimage des insectes : un pic à la fin du printemps - début été (coïncide avec la période de mise bas des chiroptères) et un autre fin été - début automne (migration, émancipation des jeunes chiroptères) (Beucher *et al.*, 2017) ;
- Elles pourraient rechercher des gîtes dans les éoliennes en les confondant avec des grands arbres (Bennett & Hale, 2014 ; Cryan, 2008 ; Gaultier *et al.*, 2020 ; Kunz *et al.*, 2007), ou encore en voulant s'en servir comme sites de reproduction (Cryan, 2008 ; Gaultier *et al.*, 2020) ou simplement explorer les éoliennes par curiosité (Cryan & Barclay, 2009) ;
- Un problème de détection des pales en mouvement : les extrémités de pale se déplacent à des vitesses linéaires importantes (plus de 250 km.h⁻¹), tout en présentant une faible surface réfléchissante pour les ultrasons utilisés par le système d'écholocation des chiroptères. Cette contrainte est augmentée par la génération d'un effet Doppler important : sur une cible arrivant à 250 km.h⁻¹, l'écho revient vers l'animal avec un décalage en fréquence de 20 kHz. Il entraîne obligatoirement une erreur de mesure (la chauve-souris perçoit la cible plus éloignée qu'elle ne l'est en réalité). Le signal pourrait aussi simplement être ininterprétable ou inaudible pour l'animal qui n'a que quelques fractions de seconde pour réagir.

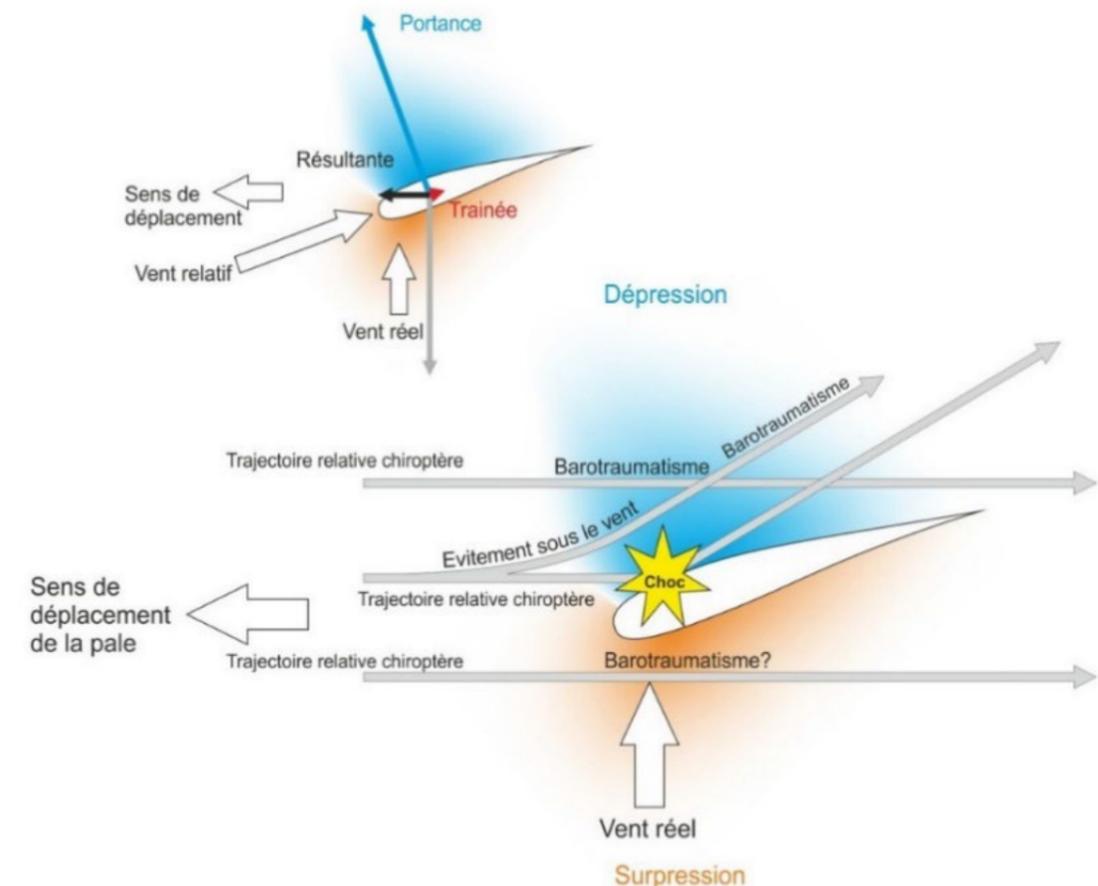


Figure 13 : Description du phénomène de barotraumatisme.

Le phénomène de barotraumatisme (Figure 13) décrit par Baerwald *et al.* (2008) et Seiche (2007), puis par Baerwald & Barclay (2009) résulterait du passage de la pale à proximité de la chauve-souris. L'animal pourrait donc être impacté dans certaines conditions même s'il a évité la pale. En effet, à proximité immédiate de

l'extrados des pales en mouvement, les chauves-souris traversent une zone de dépression brutale. Cette variation de pression entraîne la rupture des vaisseaux capillaires (pulmonaires essentiellement) et provoque une hémorragie létale sans qu'il n'y ait eu de contact avec la pale. Ce phénomène explique que la plupart des cadavres récupérés et examinés ne présentent aucune lésion externe. Horn *et al.* (2008) montrent que les risques sont plus importants lorsque la vitesse de rotation des pales n'est pas très élevée, ce qui se produit par vent faible. La mort par barotraumatisme n'étant pas directe, il est possible que l'individu soit encore capable de voler quelques temps après le traumatisme et donc que le cadavre ne soit pas retrouvé sous l'éolienne (Gaultier *et al.*, 2020).

La sensibilité des chiroptères vis-à-vis des éoliennes est variable en fonction de :

- L'écologie des espèces concernées, avec une sensibilité plus importante pour des espèces dites de haut-vol (> 40 m) appartenant principalement aux groupes des Sérotules (*Epistecus-Nyctalus*) et des Pipistrelles (Heitz & Jung, 2016) ; en Europe, les espèces les plus touchées seraient la Pipistrelle commune (*Pipistrellus pipistrellus*), la Pipistrelle de Nathusius (*Pipistrellus nathusii*) et la Noctule commune (*Nyctalus noctula*) (Gaultier *et al.*, 2020). Au contraire, les Rhinolophes et le genre *Myotis* chassent plutôt près du sol ou directement dans la végétation ce qui réduit les risques de collision (Gaultier *et al.*, 2020 ; Rydell *et al.*, 2010a) ;
- Du sexe, par exemple, les femelles de Noctule commune auraient un territoire de chasse plus grand et exploreraient plus de nouveaux territoires que les mâles, elle n'hésiteraient donc pas à chasser à proximité des éoliennes (Roeleke *et al.*, 2016) ;
- Du milieu d'implantation des éoliennes avec des mortalités plus importantes en milieu forestier, sur des crêtes, le long de grands cours d'eau ou des zones littorales, moins importantes en milieu agricoles diversifiées et minimales sur des plaines agricoles (Rydell *et al.*, 2010b) ;
- De la saison, avec des pics de mortalité en fin d'été et début de l'automne, période de dispersion des jeunes et de migration (Heitz & Jung, 2016 ; Marx, 2017) ;
- De l'heure, avec une période d'activité maximale en début de nuit (Haquart, 2013) ;
- Des conditions climatiques, avec une sensibilité maximale les nuits sans précipitations, faible vent souvent au-dessous de 6,5 m.s⁻¹ et avec hautes températures (Beucher, 2020 ; Joiris, 2012). Pour les espèces de lisières comme les Pipistrelles, les pics d'activité ont lieu pour des vitesses de vent d'environ 2 m.s⁻¹ et des températures comprises entre 10 et 15°C (Beucher *et al.*, 2017). Les espèces comme les Noctules présentent un pic d'activité vers 5 m.s⁻¹ (Beucher *et al.*, 2017). Nous avons étudié la différence entre activité et mortalité des chiroptères grâce à des caméras thermiques (Rico & Lagrange, 2015) : la forte activité a lieu pour des vitesses de vent faibles, lorsque l'éolienne ne tourne pas, il n'y a donc pas de mortalité, mais lorsque le vent atteint 5 à 6 m.s⁻¹, l'éolienne commence à tourner alors qu'il y a encore de l'activité chiroptérologique, ce qui induit donc des cas de mortalité ;
- Des caractéristiques des éoliennes (hauteur du mât, diamètre du rotor, longueur des pales, vitesse de rotation), avec une sensibilité maximale pour les éoliennes de moins de 30 mètres de garde au sol et un grand diamètre de rotor qui implique une plus grande surface balayée (Heitz & Jung, 2016). Plus les éoliennes sont larges et hautes, plus le risque de mortalité sera élevé (Gaultier *et al.*, 2020 ; Rydell *et al.*, 2010a). La distance entre chaque éolienne va également jouer un rôle : des turbines plus proches les unes des autres peuvent réduire l'effet d'évitement du parc éolien et l'emprise du parc dans l'environnement (Barré, 2018), mais diminuent également la possibilité de déplacement entre chaque éolienne.

III.2.2. Mortalité directe

La mortalité directe, qu'elle soit produite par barotraumatisme ou collision, génère une mortalité qui est de mieux en mieux documentée. Il apparaît que toutes les espèces ne sont pas impactées de la même manière par ce phénomène. Le comportement et l'écologie des animaux influenceraient fortement leur sensibilité à l'éolien. Ainsi, les chauves-souris chassant en plein ciel (espèces de haut vol) ou réalisant des migrations, seraient beaucoup plus impactées que les espèces sédentaires glanant leur nourriture au sol ou dans la canopée (Roemer *et al.*, 2017). En Europe, les données compilées par Tobias Dürr permettent de constater le nombre de cas de mortalité, relevé par espèce et par pays. En croisant ces données avec la sensibilité des espèces, il est possible de définir la vulnérabilité de chaque espèce à l'éolien (Tableau 9).

Vulnérabilité élevée	Vulnérabilité moyenne	Vulnérabilité faible
Noctules spp.	Sérotines spp.	Murins spp.
Pipistrelles spp.	Barbastelle d'Europe	Oreillards spp.
Vespertilion bicolore		Rhinolophes spp.
Vespère de Savi		
Minioptère de Schreibers		
Molosse de Cestoni		

Tableau 9 : Vulnérabilité à l'éolien par espèce (Groupe Chiroptères de la SFEPM, 2016)

III.2.3. Mortalité indirecte

La mortalité directe n'est pas le seul facteur affectant les chauves-souris, celles-ci peuvent également être victime de perte d'habitat ou du dérangement résultant de l'implantation et du fonctionnement d'un parc éolien. Les effets indirects de l'aménagement et du fonctionnement des parcs éoliens peuvent induire un impact supplémentaire sur les populations de chauves-souris (individus, habitats et proies), qu'elles soient résidentes ou migratrices.

Ces perturbations peuvent être de plusieurs natures :

- Dérangement ou barrière sur les voies de migration et les voies de transit locales,
- Dégradations, dérangement ou destruction des habitats de chasse,
- Dégradations, dérangement ou destruction des gîtes (plus probable pour des éoliennes en milieu forestier ou près de bâtiments),
- Désorientation des chauves-souris en vol par les ultrasons émis par les éoliennes.

L'activité des chiroptères serait plus faible au niveau des parcelles où une éolienne y était implantée qu'au niveau des sites témoins (Millon *et al.*, 2015, 2018). Cette observation rejoint les observations faites sur l'activité des chauves-souris en France qui ont montré qu'après installation d'un parc éolien, l'activité des chauves-souris (toutes espèces confondues) est décroissante le long des haies dans un rayon de 1 km autour des éoliennes (Barré, 2018). Les Pipistrelles communes (*Pipistrellus pipistrellus*) et les Pipistrelles pygmées (*Pipistrellus pygmaeus*) présenteraient une activité plus faible à moins de 100 mètres des éoliennes (Minderman *et al.*, 2017).

Les espèces du genre *Myotis* utilisent beaucoup les milieux forestiers pour se déplacer et chercher de la nourriture, elles sont donc les plus impactées par l'effet barrière que représente un parc éolien, contrairement aux espèces qui utilisent les milieux ouverts pour se déplacer comme la Pipistrelle de Nathusius (Gaultier *et al.*, 2020).

IV. Conclusion

Le principal objectif de cette étude a été d'évaluer la mortalité de l'avifaune et des chiroptères induite par le fonctionnement du parc éolien de Bois Ballay afin d'évaluer l'efficacité du bridage en faveur des chiroptères.

Le bridage suivant a été mis en place sur le parc :

- Pour toutes les éoliennes,
- Du 1^{er} août au 31 octobre inclus,
- Vitesse de vent inférieur à 6 m.s-1,
- Pour des températures supérieures à 10°C,
- Dès le coucher du Soleil et sur la nuit entière.

En 2020 sur le parc éolien de Bois Ballay, la mortalité réelle des oiseaux varie **entre 2,7** (Bastos *et al.*, 2013) **et 5,2** (Huso, 2010) **oiseaux tués par éolienne** et la mortalité réelle estimée des chiroptères varie **entre 9,6** (Bastos *et al.*, 2013) **et 23,0** (Huso, 2010) **chiroptères tués par éolienne**, sur la période étudiée, de mai à octobre 2020.

Cette mortalité est **inférieure** aux chiffres indiqués dans la bibliographie pour les **oiseaux** (Marx, 2017) et est **supérieure** aux chiffres indiqués dans la bibliographie pour les **chiroptères** (Rydell *et al.*, 2010).

L'absence de données sur l'activité des chiroptères en altitude du a un incident d'installation de la part de Sens Of Life est regrettable au vu de la forte mortalité des chiroptères observée sur ce parc. Il est cependant possible de faire le rapprochement avec les résultats du parc éolien de Forges qui est situé dans la zone immédiate du parc et présente des caractéristiques similaires au parc de Bois Ballay et qui fut suivi par Sens Of Life en 2020 également.

Sur l'ensemble du parc éolien de Forges, environ 90 % de l'activité chiroptérologique a été caractérisée par les paramètres suivants :

- Entre le 06 juin et le 09 octobre 2020,
- Entre 20h40 et 06h00,
- Pour une vitesse de vent inférieure à 6 m.s⁻¹,
- Pour une température supérieure à 13°C.

Les recommandations suivantes sont donc basées sur les résultats du suivi acoustique issues du rapport du parc éolien de Forges et le suivi de mortalité du parc éolien du Bois Ballay.

Au vu de la mortalité des chiroptères constatée en 2020 et 2021 sur le parc éolien de Bois Ballay, nous préconisons **l'extension du bridage sur l'ensemble du parc éolien** et selon les paramètres suivants (en gras les paramètres modifiés par rapport au bridage actuel) :

- Pour toutes les éoliennes,
- **Du 1^{er} juillet au 31 octobre inclus,**
- Vitesse de vent inférieur à 6 m.s-1,
- **Pour des températures supérieures à 13°C,**
- **Du crépuscule (1h avant le coucher du soleil) à l'aube (1h après le lever du soleil).**

Conformément au protocole ministériel en vigueur, un suivi environnemental devra être appliqué en 2024 pour évaluer l'efficacité du bridage mis en place, comprenant à minima un suivi d'activité chiroptérologique en nacelle et un suivi de mortalité de 20 recherches entre les semaines 20 et 43.

Cependant, il est également envisageable d'équiper le parc éolien d'un dispositif de régulation dynamique type ProBat afin de d'augmenter le taux de préservation des chiroptères tout en diminuant les pertes de productible. Dans ce cas, nous préconisons également un nouveau suivi environnemental afin de valider l'efficacité de ce dispositif suivant son installation.

Pour les oiseaux, cette mortalité est inférieure aux chiffres indiqués dans la bibliographie (Marx, 2017). Nous préconisons donc la poursuite des suivis environnementaux conformément au protocole ministériel dans le cadre de la législation des ICPE, c'est-à-dire un prochain suivi environnemental dans 10 ans.

V. Annexes

V.1. Photographies calibrées des cadavres d'oiseaux et de chauves-souris trouvés sur le parc éolien de Bois Ballay en 2020



Annexe 1 : Alouette des champs 22/05/2020



Annexe 2 : Bergeronnette printanière 10/07/2020



Annexe 3 : Chiroptère indéterminé 16/07/2020



Annexe 4 : Alouette des champs 23/07/2020



Annexe 5 : Pipistrelle de Nathusius 23/07/2020



Annexe 6 : Pipistrelle indéterminée 30/07/2020



Annexe 7 : Pipistrelle commune 13/08/2020



Annexe 8 : Pipistrelle indéterminée 17/08/2020



Annexe 9 : Noctule commune 20/08/2020



Annexe 10 : Pipistrelle commune 20/08/2020



Annexe 11 : Pipistrelle commune 20/08/2020



Annexe 12 : Pipistrelle de Nathusius 10/09/2020

V.2. Fiches de renseignement des cadavres d'oiseaux et de chauves-souris trouvés sur le parc éolien de Bois Ballay en 2020

Formulaire de renseignements sur le suivi des espèces			
Nom du site : Bois Ballay		Date du suivi : 22/05/2020	
Observateur : Cécile CHAILLOT		de 13h40 à 14h10	
Espèce : Alouette des champs		Photo :	DSCN9910
N° de l'éolienne :	B5	Cadavre N° :	1
Heure du relevé :	13h52	Sexe :	Indéterminé
Eolienne à l'arrêt :	Non	Age :	Indéterminé
Distance au pied du mât :	20 m	Mort depuis x jours :	Quelques jours/semaines
Direction par rapport au mât :	Sud-Ouest	Etat du cadavre :	Décomposé
Latitude :	46.8942421	Présence d'insectes :	Non
Longitude :	2.1562895	Partie prélevée :	Tout
Note sur les blessures et état du cadavre : Il ne reste que quelques plumes de l'oiseau. Non revu le 04/06.			

Formulaire de renseignements sur le suivi des espèces			
Nom du site : Bois Ballay		Date du suivi : 10/07/2020	
Observateur : Cécile CHAILLOT		de 16h03 à 17h05	
Espèce : Bergeronnette printanière		Photo :	DSCN0032
N° de l'éolienne :	B4	Cadavre N° :	2
Heure du relevé :	16h25	Sexe :	Indéterminé
Eolienne à l'arrêt :	Non	Age :	Adulte
Distance au pied du mât :	37 m	Mort depuis x jours :	Quelques jours
Direction par rapport au mât :	Est	Etat du cadavre :	Frais
Latitude :	46.8966795	Présence d'insectes :	Non
Longitude :	2.1623295	Partie prélevée :	Aucune
Note sur les blessures et état du cadavre : Relativement frais, cadavre intact mis à part le crâne ouvert. Individu bagué : Muséum Paris 8568879. Non revue le 16/07.			

Formulaire de renseignements sur le suivi des espèces			
Nom du site : Bois Ballay		Date du suivi : 16/07/2020	
Observateur : Cécile CHAILLOT		de 16h03 à 17h02	
Espèce : Chiroptère indéterminé		Photo :	DSCN0060
N° de l'éolienne :	B4	Cadavre N° :	3
Heure du relevé :	16h41	Sexe :	Indéterminé
Eolienne à l'arrêt :	Non	Age :	Adulte
Distance au pied du mât :	31 m	Mort depuis x jours :	Quelques jours
Direction par rapport au mât :	Nord-Est	Etat du cadavre :	Sec
Latitude :	46.8968557	Présence d'insectes :	Non
Longitude :	2.1622326	Partie prélevée :	Intégralement sauf les ailes
Note sur les blessures et état du cadavre : Ne reste que les 2 ailes de l'individu (envoyées à PLAISSAN donc individu non revu).			

Formulaire de renseignements sur le suivi des espèces			
Nom du site : Bois Ballay		Date du suivi : 23/07/2020	
Observateur : Cécile CHAILLOT		de 08h40 à 10h05	
Espèce : Alouette des champs		Photo :	DSCN0099
N° de l'éolienne :	B1	Cadavre N° :	4
Heure du relevé :	09h11	Sexe :	Indéterminé
Eolienne à l'arrêt :	Non	Age :	Adulte
Distance au pied du mât :	45 m	Mort depuis x jours :	Quelques jours
Direction par rapport au mât :	Ouest	Etat du cadavre :	Décomposé
Latitude :	46.9032742	Présence d'insectes :	Non
Longitude :	2.159199	Partie prélevée :	Tout sauf quelques plumes
Note sur les blessures et état du cadavre : Il ne reste que quelques plumes de l'oiseau. Plumes revues jusqu'au 06/08. Non revues le 13/08.			

Formulaire de renseignements sur le suivi des espèces			
Nom du site : Bois Ballay		Date du suivi : 23/07/2020	
Observateur : Cécile CHAILLOT		de 11h18 à 12h22	
Espèce : Pipistrelle de Nathusius		Photo :	DSCN0103
N° de l'éolienne :	B4	Cadavre N° :	5
Heure du relevé :	12h00	Sexe :	Indéterminé
Eolienne à l'arrêt :	Oui	Age :	Adulte
Distance au pied du mât :	19 m	Mort depuis x jours :	Quelques jours
Direction par rapport au mât :	Sud-Est	Etat du cadavre :	Sec
Latitude :	46.8966016	Présence d'insectes :	Oui
Longitude :	2.1619885	Partie prélevée :	Une partie du dos
Note sur les blessures et état du cadavre : Cadavre relativement intact, écrasé par le passage de véhicule puisque situé sur le chemin d'accès. Non revue le 06/08.			

Formulaire de renseignements sur le suivi des espèces			
Nom du site : Bois Ballay		Date du suivi : 30/07/2020	
Observateur : Cécile CHAILLOT		de 13h57 à 15h00	
Espèce : Pipistrelle indéterminée		Photo :	DSCN0125bis
N° de l'éolienne :	B5	Cadavre N° :	6
Heure du relevé :	15h00	Sexe :	Indéterminé
Eolienne à l'arrêt :	Non	Age :	Adulte
Distance au pied du mât :	38 m	Mort depuis x jours :	Quelques jours
Direction par rapport au mât :	Sud	Etat du cadavre :	Sec
Latitude :	46.8940661	Présence d'insectes :	Non
Longitude :	2.1562513	Partie prélevée :	Tout sauf une aile
Note sur les blessures et état du cadavre : Ne reste qu'une petite partie du corps, l'ensemble a été prélevé et envoyé à Plaisan.			

Formulaire de renseignements sur le suivi des espèces			
Nom du site : Bois Ballay		Date du suivi : 13/08/2020	
Observateur : Cécile CHAILLOT		de 12h15 à 13h40	
Espèce : Pipistrelle commune		Photo :	DSCN0180
N° de l'éolienne :	B1	Cadavre N° :	7
Heure du relevé :	13h00	Sexe :	Indéterminé
Eolienne à l'arrêt :	Non	Age :	Adulte
Distance au pied du mât :	36 m	Mort depuis x jours :	Quelques jours
Direction par rapport au mât :	Sud	Etat du cadavre :	Sec
Latitude :	46.9029771	Présence d'insectes :	Non
Longitude :	2.1597238	Partie prélevée :	Tout sauf la peau et les os
Note sur les blessures et état du cadavre : Totalement consommé, ne reste que les os et un peu de peau. Non revue le 17/08.			

Formulaire de renseignements sur le suivi des espèces			
Nom du site : Bois Ballay		Date du suivi : 17/08/2020	
Observateur : Cécile CHAILLOT		de 16h30 à 17h39	
Espèce : Pipistrelle indéterminée		Photo :	DSCN0185
N° de l'éolienne :	B4	Cadavre N° :	8
Heure du relevé :	16h41	Sexe :	Indéterminé
Eolienne à l'arrêt :	Non	Age :	Adulte
Distance au pied du mât :	51 m	Mort depuis x jours :	Quelques jours
Direction par rapport au mât :	Sud-Ouest	Etat du cadavre :	Sec
Latitude :	46.8962467	Présence d'insectes :	Oui
Longitude :	2.1616972	Partie prélevée :	Entrailles et chairs consommées
Note sur les blessures et état du cadavre : En train d'être consommé. Non revue le 20/08.			

Formulaire de renseignements sur le suivi des espèces			
Nom du site : Bois Ballay		Date du suivi : 20/08/2020	
Observateur : Cécile CHAILLOT		de 07h52 à 09h43	
Espèce : Noctule commune		Photo :	DSCN0194
N° de l'éolienne :	B5	Cadavre N° :	9
Heure du relevé :	07h58	Sexe :	Indéterminé
Eolienne à l'arrêt :	Oui	Age :	Adulte
Distance au pied du mât :	48 m	Mort depuis x jours :	Le jour même
Direction par rapport au mât :	Nord-Ouest	Etat du cadavre :	Frais
Latitude :	46.8946382	Présence d'insectes :	Oui
Longitude :	2.1557729	Partie prélevée :	Aucune
Note sur les blessures et état du cadavre : Cadavre non rigide. Une partie de la peau de l'abdomen absente, abdomen ouvert. Aile gauche cassée Non revue le 31/08.			

Formulaire de renseignements sur le suivi des espèces			
Nom du site : Bois Ballay		Date du suivi : 20/08/2020	
Observateur : Cécile CHAILLOT		de 07h52 à 09h43	
Espèce : Pipistrelle commune		Photo :	DSCN0200
N° de l'éolienne :	B5	Cadavre N° :	10
Heure du relevé :	08h35	Sexe :	Indéterminé
Eolienne à l'arrêt :	Oui	Age :	Juvénile
Distance au pied du mât :	41 m	Mort depuis x jours :	Le jour même
Direction par rapport au mât :	Nord-Ouest	Etat du cadavre :	Frais
Latitude :	46.8947908	Présence d'insectes :	Oui
Longitude :	2.1562161	Partie prélevée :	Aucune
Note sur les blessures et état du cadavre : Une partie de la peau de l'abdomen absente, abdomen ouvert. Non revue le 31/08.			

Formulaire de renseignements sur le suivi des espèces			
Nom du site : Bois Ballay		Date du suivi : 20/08/2020	
Observateur : Cécile CHAILLOT		de 07h52 à 09h43	
Espèce : Pipistrelle commune		Photo :	DSCN0206
N° de l'éolienne :	B5	Cadavre N° :	11
Heure du relevé :	09h09	Sexe :	Indéterminé
Eolienne à l'arrêt :	Non	Age :	Adulte
Distance au pied du mât :	25 m	Mort depuis x jours :	Quelques jours
Direction par rapport au mât :	Nord-Est	Etat du cadavre :	Frais
Latitude :	46.8946261	Présence d'insectes :	Oui
Longitude :	2.1563827	Partie prélevée :	Aucune
Note sur les blessures et état du cadavre : Une partie de la peau de la tête manque. Cadavre relativement intact. Non revue le 31/08.			

Formulaire de renseignements sur le suivi des espèces			
Nom du site : Bois Ballay		Date du suivi : 10/09/2020	
Observateur : Cécile CHAILLOT		de 12h28 à 13h20	
Espèce : Pipistrelle de Nathusius		Photo :	DSCN0295
N° de l'éolienne :	B3	Cadavre N° :	12
Heure du relevé :	12h56	Sexe :	Indéterminé
Eolienne à l'arrêt :	Oui	Age :	Adulte
Distance au pied du mât :	12 m	Mort depuis x jours :	Quelques jours
Direction par rapport au mât :	Sud-ouest	Etat du cadavre :	Frais
Latitude :	46.89906	Présence d'insectes :	Oui
Longitude :	2.167247	Partie prélevée :	Aucune
Note sur les blessures et état du cadavre : Cadavre intact. Non revue le 17/09.			

VI. Bibliographie

- ADEME. (1999). *Guide du porteur de projet de parc éolien*. (ADEME Edition).
- Albouy, S., Clément, D., Jonard, A., Massé, P., Pagès, J.-M., & Nea, P. (1997). *Suivi ornithologique du parc éolien de Port-la-Nouvelle : Rapport final*. (p. 67). Abiès, Géokos consultants, LPO Aude.
- Albouy, S., Dubois, Y., & Picq, H. (2001). *Suivi ornithologique des parcs éoliens du plateau de Garrigue Haute (Aude)—Résultats 2006-2009* (p. 76). LPO Aube et Abies. <http://aude.eolienne.free.fr/fichiers/SuiviOrnitho.pdf>
- Alcalde, J. T. (2003). Impacto de los parques eólicos Sobre las poblaciones de murciélagos. *Temas*, 3-6.
- Allouche, L., AVES environnement, & Groupe Chiroptères de Provence. (2010). *Etude de la mortalité des chiroptères. Parc éolien du Mas de Leuze, Saint-Martin-de-Crau (13)*. (p. 1-31). Energie du Delta.
- Anderson, R. L., Strickland, D., Tom, J., Neumann, N., Erickson, W., Cleckler, J., Mayorga, G., Nuhn, G., Leuders, A., Schneider, J., Backus, L., Becker, P., & Flagg, N. (2001). *Avian monitoring and risk assessment at Tehachapi Pass and San Gorgonio Pass wind resource areas, California : Phase 1 Preliminary Results*. 16.
- Arthur, L., & Lemaire, M. (2009). *Les chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse*. (Publications scientifiques du muséum). Biotope édition.
- Aschwanden, J., Stark, H., Peter, D., Steuri, T., Schmid, B., & Liechti, F. (2018). Bird collisions at wind turbines in a mountainous area related to bird movement intensities measured by radar. *Biological Conservation*, 220, 228-236. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.01.005>
- Bach, L. (2001). Fledermäuse und Windenergienutzung—Reale Probleme oder Einbildung ? *Vogelkundliche Berichte aus Niedersachsen*, 33, 119-124.
- Bach, L., Brinckmann Robert, Limpens Herman, Rahmel Ulf, Reichenbach, M., & Roschen Axel. (1999). Bewertung und planerische umsetzung von fledermausdaten im rahmen der windkraftplanung. *Bremer Beitrage für Naturkunde und Naturschutz, Themenheft « Voegel und Windkraft »*(Band 4), 163-170.
- Baerwald, E. F., & Barclay, R. M. R. (2009). Geographic variation in activity and fatality of migratory bats at wind energy facilities. *Journal of Mammalogy*, 90(6), 1341-1349. <https://doi.org/10.1644/09-MAMM-S-104R.1>
- Baerwald, E. F., D'Amours, G. H., Klug, B. J., & Barclay, R. M. R. (2008). Barotrauma is a significant cause of bat fatalities at wind turbines. *Current Biology*, 18(16), R695-R696. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2008.06.029>
- Barré, K. (2018). Estimating habitat loss due to wind turbine avoidance by bats_ Implications for European siting guidance. *Biological Conservation*, 10.
- Barrios, L., & Rodríguez, A. (2004). Behavioural and environmental correlates of soaring-bird mortality at on-shore wind turbines : Bird mortality at wind power plants. *Journal of Applied Ecology*, 41(1), 72-81. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2004.00876.x>
- Bastos, R., Santos, M., & Cabral, J. A. (2013). A new stochastic dynamic tool to improve the accuracy of mortality estimates for bats killed at wind farms. *Ecological Indicators*, 34, 428-440. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.06.003>
- Bennett, V. J., & Hale, A. M. (2014). Red aviation lights on wind turbines do not increase bat-turbine collisions : Bats are not attracted to aviation lighting. *Animal Conservation*, 17(4), 354-358. <https://doi.org/10.1111/acv.12102>
- Bennett, V. J., Hale, A. M., & Williams, D. A. (2017). When the excrement hits the fan : Fecal surveys reveal species-specific bat activity at wind turbines. *Mammalian Biology*, 87, 125-129. <https://doi.org/10.1016/j.mambio.2017.08.003>
- Beucher, Y. (2020). *Maîtrise des impacts éoliens sur les chauves-souris : Actions et stratégie du Groupe Technique éolien de la SFEPM*. 7.
- Beucher, Y., Kelm, V., Geyelin, M., & Pick, D. (2011). *Réduction significative de la mortalité des chauves-souris liée aux éoliennes—Poster*.
- Beucher, Y., Langlois, A., Albespy, F., & Mounetou, R. (2017). *Les pics d'activité des chauves-souris en plein ciel : Vers une nouvelle perception de la typologie des risques d'impacts éoliens*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.20519.80803>
- Brinkmann, R., Schauer-Weissahn, H., & Bontadina, F. (2006). *Untersuchungen zu möglichen betriebsbedingten Auswirkungen von Windkraftanlagen auf Fledermäuse im Regierungsbezirk Freiburg* (Projekt 0410 L; p. 66). Regierungspräsidium Freiburg.
- Cade, T. J. (1994). Industry Research : Kenetech Windpower. *Wind Power*, 156.
- Cieślak et Dul. (2006). *Feather identification for bird conservation* (Natura publishing house).
- Cornut, J., & Vincent, S. (2010). *Suivi de la mortalité des chiroptères sur deux parcs éoliens du sud de la région Rhône-Alpes* (p. 43). LPO Drôme.
- Cryan, P. M. (2008). *Mating Behavior as a Possible Cause of Bat Fatalities at Wind Turbines*. 72 (3), 845-849.
- Cryan, P. M., & Barclay, R. M. R. (2009). Causes of bat fatalities at wind turbines : Hypotheses and predictions. *Journal of Mammalogy*, 90(6), 1330-1340. <https://doi.org/10.1644/09-MAMM-S-076R1.1>
- Curry, R. C., & Kerlinger, P. (1998). *Avian Mitigation Plan : Kenetech Model Wind Turbines, Altamont Pass WRA, California*. 214.
- de Lucas, M., Janss, G. F. E., Whitfield, D. P., & Ferrer, M. (2008). Collision fatality of raptors in wind farms does not depend on raptor abundance. *Journal of Applied Ecology*, 45(6), 1695-1703. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2008.01549.x>
- Dirksen, S., Spaans, A. L., & Van der Winden, J. (2000). *Studies on Nocturnal Flight Paths and Altitudes of Waterbirds in Relation to Wind Turbines : A Review of Current Research in The Netherlands*. In : *PNAWPPM III, Proceeding of the National Avian-Wind Power Planning Meeting III, San Diego, California, June 2000 : 97-109*.
- Dooling, R., & Lohr, B. (2000, mai). *The role of hearing in avian avoidance of wind turbines*. National Avian-Wind Power Planning Meeting IV, Carmel, California.
- DREAL. (2015). *Protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres*. Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer.
- DREAL. (2018). *Protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres*. Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer.
- Dulac, P. (2008). *Evaluation de l'impact du parc éolien de Bouin (Vendée) sur l'avifaune et les chauves-souris Bilan des 5 années de suivi* (p. 106). Ligue pour la Protection des Oiseaux délégation Vendée / ADEME Pays de la Loire / Conseil Régional des Pays de la Loire.
- Dürr, T. (2002). Fledermäuse als Opfer von Windkraftanlagen in Deutschland. *Nyctalus*, 8(2), 115-118.
- Dürr, T. (2020). *Synthèse des bilans de suivi de la mortalité sous les éoliennes d'Europe, bilan de novembre 2020*.
- Erickson, W. P., Johnson, G. D., & Young, D. P. J. (2005). A summary and comparison of bird mortality from anthropogenic causes with an emphasis on collisions. *USDA Forest Service Gen. Tech. Rep., PSW-GTR-191*, 14.
- Foo, C. F., Bennett, V. J., Hale, A. M., Korstian, J. M., Schildt, A. J., & Williams, D. A. (2017). Increasing evidence that bats actively forage at wind turbines. *PeerJ*, 5, e3985. <https://doi.org/10.7717/peerj.3985>
- Garvin, J. C., Jennelle, C. S., Drake, D., & Grodsky, S. M. (2011). Response of raptors to a windfarm : Raptor behaviour within a windfarm. *Journal of Applied Ecology*, 48(1), 199-209. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01912.x>
- Gaultier, S. P., Blomberg, A. S., Ijäs, A., Vasko, V., Vesterinen, E. J., Brommer, J. E., & Lilley, T. M. (2020). Bats and Wind Farms : The Role and Importance of the Baltic Sea Countries in the European Context of Power Transition and Biodiversity Conservation. *Environmental Science & Technology*, 54(17), 10385-10398. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c00070>
- Gaultier, S. P., Marx, G., & Roux, D. (2019). *Éoliennes et biodiversité Synthèse des connaissances sur les impacts et les moyens de les atténuer* (p. 120). LPO et Office national de la chasse et de la faune sauvage. https://eolien-biodiversite.com/IMG/pdf/lpo_oncfs_2019.pdf
- Gensbol, B. (2004). *Guide des rapaces diurnes d'Europe, d'Afrique du Nord et du Moyen-Orient* (Delachaux et Niestlé). Editions Delachaux et Niestlé.
- Groupe Chiroptères de la SFEPM. (2016). *Suivis des impacts des parcs éoliens terrestres sur les populations de chiroptères—Actualisation 2016 des recommandations de la SFEPM*. (Version 2; p. 17). Société Française pour l'Étude et la Protection des Mammifères (SFEPM).

- Grünkorn, T., Diederichs, A., Poszig, D., Diederichs, B., & Nehls, G. (2009). Wie viele Vogel kollidieren mit Windenergieanlagen? *Natur und Landschaft*, 84(7), 309-314.
- Guyonne, J., & Clave, A. T. (2000, in press). *A study of bird behavior in a wind farm and adjacent areas in Tarifa (Spain); management considerations*. National Avian-Wind Power Planning Meeting III, San Diego, California.
- Hall, L. S., & Richards, G. C. (1972). *Notes on Tadarida australis (Chiroptera : Molossidae)*. 46-47.
- Haquart, A. (2013). *Actichiro, référentiel d'activité des chiroptères. Eléments pour l'interprétation des dénombrements de chiroptères avec les méthodes acoustiques en zone méditerranéenne française*. École Pratique des Hautes Études.
- Heitz, C., & Jung, L. (2016). *Impact de l'activité éolienne sur les populations de chiroptères : Enjeux et solutions (Etude bibliographique)* (p. 149). Ecosphère.
- Hernández-Pliego, J., de Lucas, M., Muñoz, A.-R., & Ferrer, M. (2015). Effects of wind farms on Montagu's harrier (*Circus pygargus*) in Southern Spain. *Biological Conservation*, 191, 452-458. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.07.040>
- Hill, R., Hill, K., Aumüller, R., Schulz, A., Dittmann, T., Kulemever, C., & Coppack, T. (2014). *Of birds, blades and barriers : Detecting and analyzing mass migration events at alpha ventus* (Springer Fachmedien, p. 111-131) [Ecological Research at the Offshore Windfarm alpha ventus]. Federal Maritime and Hydrographic Agency, Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety.
- Horn, J. W., Arnett, E. B., & Kunz, T. H. (2008). Behavioral responses of bats to operating wind turbines. *Journal of Wildlife Management*, 72(1), 123-132. <https://doi.org/10.2193/2006-465>
- Hötker, H., Thomsen, K.-M., & Jeromin, H. (2006). *Impacts on biodiversity of exploitation of renewable energy sources : The example of birds and bats—Facts, gaps in knowledge, demands for further research, and ornithological guidelines for the development of renewable energy exploitation*. Michael-Otto-Institut im NABU, Bergenhusen.
- Huso, M. M. P. (2010). An estimator of wildlife fatality from observed carcasses. *Environmetrics*, 22(3), 318-329. <https://doi.org/10.1002/env.1052>
- Itty, C., & Duriez, O. (2017). *Le suivi par GPS, une méthode efficace pour évaluer l'impact des parcs éoliens sur des espèces à fort enjeux de conservation : L'exemple de l'aigle royal (Aquila chrysaetos) dans le sud du massif central*. 42-48.
- James, R. D., & Coady, G. (2004). Bird monitoring at Toronto's exhibition place wind turbine. *Ontario Birds*, 22(2), 78-88.
- Janss, G. F. E. (1998). *Bird Behavior In and Near a Wind Farm at Tarifa, Spain : Management Considerations*. 214.
- Johnson, G. D., Erickson, W. P., Dale Strickland, M., Shepherd, M. F., Shepherd, D. A., & Sarappo, S. A. (2003). Mortality of bats at a large-scale wind power development at Buffalo Ridge, Minnesota. *The American Midland Naturalist*, 150(2), 332-342. [https://doi.org/10.1674/0003-0031\(2003\)150\[0332:MOBAAAL\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1674/0003-0031(2003)150[0332:MOBAAAL]2.0.CO;2)
- Johnston, N. N., Bradley, J. E., & Otter, K. A. (2014). Increased flight altitudes among migrating Golden Eagles suggest turbine avoidance at a rocky mountain wind installation. *PLoS ONE*, 9(3), e93030. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0093030>
- Joiris, E. (2012, mars 24). *High altitude bat monitoring* [Preliminary results Hainaut & Ardennes]. CSD Ingénieurs.
- Jones, G., Cooper-Bohannon, R., Barlow, K., & Parsons, K. (2009). *Determining the potential ecological impact of wind turbines on bat populations in Britain* [Scoping and method development report]. University of Bristol, Bat Conservation Trust.
- Kerlinger, P., Gehring, J. L., Erickson, W. P., Curry, R., Jain, A., & Guarnaccia, J. (2010). Night migrant fatalities and obstruction lighting at wind turbines in North America. *The Wilson Journal of Ornithology*, 122(4), 744-754. <https://doi.org/10.1676/06-075.1>
- Kingsley, A., & Whittam, B. (2001). *Potential impacts of wind turbines on birds at North Cape, Prince Edward Island* (p. 33). Bird Studies Canada, Atlantic Region.
- Kitano, M., & Shiraki, S. (2013). *Estimation of bird fatalities at wind farms with complex topography and vegetation in Hokkaido, Japan*. 37, 41-48.
- Kreuziger, J. (2008). *Kulissenwirkung und Vögel. Methodische Rahmenbedingungen für die Auswirkungsanalyse in der FFH-VP*. Vilmer Expertentagung.
- Kunz, T. H., Arnett, E. B., Erickson, W. P., Hoar, A. R., Johnson, G. D., Larkin, R. P., Strickland, M. D., Thresher, R. W., & Tuttle, M. D. (2007). Ecological impacts of wind energy development on bats : Questions, research needs, and hypotheses. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(6), 315-324. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2007\)5\[315:EIOWED\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2007)5[315:EIOWED]2.0.CO;2)
- Lagrange, H., Roussel, E., Anne-Lise Ughetto, Boulnois, R., Haquart, A., & Melki, F. (2009). *Chirotech Bilan des tests d'asservissement sur le parc de Bouin—2009*. Ecosphère. <http://rgdoi.net/10.13140/RG.2.2.10316.21129>
- Langston, R., & Pullan, J. (2003). Windfarms and birds : An analysis of the effects of windfarms on birds, and guidance on environmental assessment criteria and site selection issues. *23rd Meeting*, 58.
- Larsen, J. K., & Madsen, J. (2000). Effects of wind turbines and other physical elements on field utilization by pink-footed geese (*Anser brachyrhynchus*) : A landscape perspective. *Landscape Ecology*, 15(8), 755-764. <https://doi.org/10.1023/A:1008127702944>
- Leddy, K. L., Higgins, K. F., & Naugle, D. E. (1999). Effects of wind turbines on upland nesting birds in conservation reserve program grasslands. *Wilson Bulletin*, 111(1), 100-104.
- Lekuona, J. M. (2001). *Usa del espacio por la avifauna y control de la mortalidad de aves y murcielagos en los parques eucos de Navarra durante un ciclo anual* (p. 155). Direccion General de Medio Ambiente, Gobierno de Navarra.
- Lekuona, J. M., & Ursua, C. (2006). *Avian mortality in wind plants of Navarra (northern Spain)*. In : De Lucas M., Janss G. & Ferrer M. (eds). *Birds and Wind Power*. (Ilynx Edicions).
- Loesch, C. R., Walker, J. A., Reynolds, R. E., Gleason, J. S., Niemuth, N. D., Stephens, S. E., & Erickson, M. A. (2013). Effect of wind energy development on breeding duck densities in the Prairie Pothole Region : Wind Energy and Breeding Ducks. *The Journal of Wildlife Management*, 77(3), 587-598. <https://doi.org/10.1002/jwmg.481>
- Loss, S. R., Will, T., & Marra, P. P. (2015). Direct mortality of birds from anthropogenic causes. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 46(1), 99-120. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-112414-054133>
- Marques, A. T., Batalha, H., Rodrigues, S., Costa, H., Pereira, M. J. R., Fonseca, C., Mascarenhas, M., & Bernardino, J. (2014). Understanding bird collisions at wind farms : An updated review on the causes and possible mitigation strategies. *Biological Conservation*, 179, 40-52. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.08.017>
- Marques, A. T., Santos, C. D., Hanssen, F., Muñoz, A., Onrubia, A., Wikelski, M., Moreira, F., Palmeirim, J. M., & Silva, J. P. (2020). Wind turbines cause functional habitat loss for migratory soaring birds. *Journal of Animal Ecology*, 89(1), 93-103. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12961>
- Marx, G. (2017). *Le parc éolien français et ses impacts sur l'avifaune. Etude des suivis de mortalité réalisés en France de 1997 à 2015* (LN 1216-54). LPO France.
- May, R., Nygård, T., Falkdalen, U., Åström, J., Hamre, Ø., & Stokke, B. G. (2020). Paint it black : Efficacy of increased wind turbine rotor blade visibility to reduce avian fatalities. *Ecology and Evolution*, 10(16), 8927-8935. <https://doi.org/10.1002/ece3.6592>
- Millon, L., Colin, C., Brescia, F., & Kerbiriou, C. (2018). Wind turbines impact bat activity, leading to high losses of habitat use in a biodiversity hotspot. *Ecological Engineering*, 112, 51-54. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.12.024>
- Millon, L., Julien, J.-F., Julliard, R., & Kerbiriou, C. (2015). Bat activity in intensively farmed landscapes with wind turbines and offset measures. *Ecological Engineering*, 75, 250-257. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.11.050>
- Minderman, J., Gillis, M. H., Daly, H. F., & Park, K. J. (2017). Landscape-scale effects of single- and multiple small wind turbines on bat activity. *Animal Conservation*, 20(5), 455-462. <https://doi.org/10.1111/acv.12331>
- Moriguchi, S., Mukai, H., Komachi, R., & Sekijima, T. (2019). Wind farm effects on migratory flight of Swans and foraging distribution at their stopover site. In R. Bispo, J. Bernardino, H. Coelho, & J. Lino Costa

- (Éds.), *Wind Energy and Wildlife Impacts* (p. 125-133). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-05520-2_8
- Morinha, F., Travassos, P., Seixas, F., Martins, A., Bastos, R., Carvalho, D., Magalhães, P., Santos, M., Bastos, E., & Cabral, J. A. (2014). Differential mortality of birds killed at wind farms in Northern Portugal. *Bird Study*, 61(2), 255-259. <https://doi.org/10.1080/00063657.2014.883357>
- Osborn, R. G., Dieter, C. D., Higgins, K. F., & Usgaard, R. E. (1998). Bird flight characteristics near wind turbines in Minnesota. *The American Midland Naturalist*, 139(1), 29-38. [https://doi.org/10.1674/0003-0031\(1998\)139\[0029:BFCNWT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1674/0003-0031(1998)139[0029:BFCNWT]2.0.CO;2)
- Osborn, R. G., Higgins, K. F., Dieter, C. D., & Usgaard, R. E. (1996). *Bat collisions with wind turbines in southwestern Minnesota*. 37(4), 105-108.
- Pagel, J. E., Kritz, K. J., Millsap, B. A., Murphy, R. K., Kershner, E. L., & Covington, S. (2013). Bald Eagle and Golden Eagle mortalities at wind energy facilities in the contiguous United States. *Journal of Raptor Research*, 47(3), 311-315. <https://doi.org/10.3356/JRR-12-00019.1>
- Pearce-Higgins, J. W., Stephen, L., Douse, A., & Langston, R. H. W. (2012). Greater impacts of wind farms on bird populations during construction than subsequent operation: Results of a multi-site and multi-species analysis. *Journal of Applied Ecology*, 49(2), 386-394. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2012.02110.x>
- Pedersen, M. B., & Poulsen, E. (1991). Avian Response to the Implementation of the Tjaereborg Wind Turbine at the Danish Wadden Sea. Studies on Danish Fauna Report 47. *Denmark Institute of Ecological Studies*.
- Percival, S. M. (1998). *Birds and wind turbines—Managing potential planning issues*. 345-350.
- Percival, S. M. (2001). *Assessment of the effects of offshore wind farms on birds* (DTI/Pub URN 01/1434; p. 96).
- Perret, M. (2017). *Eolien et biodiversité : Prise en compte des enjeux relatifs à la biodiversité dans le cadre réglementaire français*. 6.
- Puzen, S. C. (2002). Bat interactions with wind turbines in northeastern Wisconsin. *Wisconsin Public Service Corporation, Green Bay, USA*.
- Richardson, W. J. (1998). *Bird migration and wind turbines : Migration timing, flight behavior, and collision risk*. 214.
- Rico, P., & Lagrange, H. (2011). *Chirotech Bilan des tests d'asservissement sur le parc du Mas de Leuze (commune de Saint Martin de Crau-13)—2011*. Biotope. <http://rgdoi.net/10.13140/RG.2.2.23108.83849>
- Rico, P., & Lagrange, H. (2015). *Etude de l'impact des parcs éoliens sur l'activité et la mortalité des chiroptères par trajectographie acoustique, imagerie thermique et recherche de cadavres au sol—Contributions aux évaluations des incidences sur l'environnement*. (p. 174). Sens Of Life, DGO3, SPW.
- Rico, P., Lagrange, H., Cosson, E., & Allouche, L. (2012). *Bilan des tests d'asservissement sur le parc du Mas de Leuze (commune de Saint Martin de Crau-13)—2012* (p. 67). Biotope.
- Riols-Loyrette, C. (2015). Impact de parcs éoliens sur un couple d'aigle royal *Aquila chrysaetos* dans les Corbières. *Ornithos*, 22(4), 196-207.
- Roeleke, M., Blohm, T., Kramer-Schadt, S., Yovel, Y., & Voigt, C. C. (2016). Habitat use of bats in relation to wind turbines revealed by GPS tracking. *Scientific Reports*, 6(1), 28961. <https://doi.org/10.1038/srep28961>
- Roemer, C., Disca, T., Coulon, A., & Bas, Y. (2017). Bat flight height monitored from wind masts predicts mortality risk at wind farms. *Biological Conservation*, 215, 116-122. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.09.002>
- Rydell, J., Bach, L., Dubourg-Savage, M.-J., Green, M., Rodrigues, L., & Hedenström, A. (2010a). Bat mortality at wind turbines in Northwestern Europe. *Acta Chiropterologica*, 12(2), 261-274. <https://doi.org/10.3161/150811010X537846>
- Rydell, J., Bach, L., Dubourg-Savage, M.-J., Green, M., Rodrigues, L., & Hedenström, A. (2010b). Mortality of bats at wind turbines links to nocturnal insect migration? *European Journal of Wildlife Research*, 56(6), 823-827. <https://doi.org/10.1007/s10344-010-0444-3>
- Schuster, E., Bulling, L., & Köppel, J. (2015). Consolidating the state of knowledge: A synoptical review of wind energy's wildlife effects. *Environmental Management*, 56(2), 300-331. <https://doi.org/10.1007/s00267-015-0501-5>
- Seiche, K. (2007). *Fledermäuse und Windenergieanlagen in Sachsen 2006*. (Naturschutz und Landschaftspflege). Freistaat Sachsen, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie.
- Shaffer, J. A., & Buhl, D. A. (2016). Effects of wind-energy facilities on breeding grassland bird distributions: Wind-energy effects on grassland birds. *Conservation Biology*, 30(1), 59-71. <https://doi.org/10.1111/cobi.12569>
- Smallwood, K. S. (2013). Comparing bird and bat fatality-rate estimates among North American wind-energy projects. *Wildlife Society Bulletin*, 37(1), 19-33. <https://doi.org/10.1002/wsb.260>
- Smith, J. A., & Dwyer, J. F. (2016). Avian interactions with renewable energy infrastructure: An update. *The Condor*, 118(2), 411-423. <https://doi.org/10.1650/CONDOR-15-61.1>
- Strickland, M. D., Johnson, G., Erickson, W. P., & Kronner, K. (2001). *Avian studies at wind plants located at Buffalo Ridge, Minnesota and Vansycle Ridge, Oregon*. 38-52.
- Svensson, L., Mullarney, K., & Zetterström, D. (2015). *Le Guide Ornitho* (Delachaux et Niestlé).
- Thaxter, C. B., Buchanan, G. M., Carr, J., Butchart, S. H. M., Newbold, T., Green, R. E., Tobias, J. A., Foden, W. B., O'Brien, S., & Pearce-Higgins, J. W. (2017). Bird and bat species' global vulnerability to collision mortality at wind farms revealed through a trait-based assessment. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 284(1862), 20170829. <https://doi.org/10.1098/rspb.2017.0829>
- Thelander, C. G., & Rugge, L. (2000). *Examining relationships between bird risk behaviors and fatalities at the Altamont wind resource area: A second year's progress report*. 5-14.
- Thomas, R. (2000). *An Assessment of the Impact of Wind Turbines on Birds at Ten Windfarm Sites in the UK*. 215-219.
- Vogelwarte. (2016). *Energie éolienne et protection des oiseaux*.
- Whitfield, D. P., & Madders, M. (2006). A review of the impacts of wind farms on Hen Harriers *Circus cyaneus* and an estimation of collision avoidance rates. *Natural Research Ltd*, 33.
- Winkelman, J. E. (1985). Vogelhinder door middelgrote windturbines—Over vlieggedrag, slachtoffers en verstoring [Bird impact by middle-sized wind turbines on flight behaviour, victims, and disturbance]. *Limosa*, 58, 117-121.
- Winkelman, J. E. (1992). *De invloed van de Sep-proefwindcentrale te Oosterbierum (Fr.) op vogels. 1: Aanvaringslachtoffers. [The impact of the Sep wind park near Oosterbierum (Fr.), The Netherlands, on birds, 1: Collision victims.]* (RIN-rapport92/2; p. 144). DLO-Instituut voor Bos-en Natuuronderzoek.
- Winkelman, J. E. (1994). Bird/Wind Turbine Investigations in Europe. *Wind Power*, 156.
- Zeiler, H. P., & Grünsachner-Berger, V. (2009). Impact of wind power plants on black grouse, *Lyrurus tetrix* in Alpine regions. *Folia Zoologica*, 58(2), 173-182.